

**Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT)**

# Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä

**Markus Latvala**

YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU





**Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT)**

# Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä

**Markus Latvala**

Helsinki 2009

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 24 | 2009

Suomen ympäristökeskus  
Asiantuntijapalveluosasto

Taitto: Pirjo Lehtovaara

Kansikuva: Risto Saarinen

Sisäsivujen kuvat: Markus Latvala, paitsi kuva 12 Antti Leinonen

Julkaisu on saatavana myös internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

ISBN 978-952-11-3497-5 (nid.)

ISBN 978-952-11-3498-2 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)



## ALKUSANAT

Energian tuotanto biomassasta sekä jätteiden käsittely yhdistettynä biokaasun tuotantoon ovat viime aikoina herättäneet erityisen paljon kiinnostusta. Biokaasusta tuotetulle sähköenergialle selvitettävänä olevan syöttötariffin toteutuessa laitosten investointien oletetaan lisääntyvän entisestään.

Biokaasulaitoksella uusiutuvista, biologisesti hajoavista orgaanisista aineista tuotetaan anaerobisissa olosuhteissa metaanipitoista biokaasua, joka polttoaineena on rinnastettavissa maakaasuun ja jonka käyttö korvaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Biokaasulaitoksen toiminnalla on myös muita positiivisia vaikutuksia, kuten mahdollisuus kotimaiseen hajautettuun energiantuotantoon, kasvihuonekaasujen vähentyminen sekä ravinteiden kierrätys ja muokkaaminen paremmin kasvien hyödynnettävään, liukoiseen muotoon. Biokaasulaitos myös vähentää hajuhaittoja verrattuna tilanteeseen, jossa lietelanta levitetäisiin pelloille suoraan.

Kasvihuonekaasuja biokaasulaitokset vähentävät kahdella tavalla. Ensinnäkin ottamalla talteen syötteistä mahdollisesti hallitsemattomasti muodostuvan metaanin, joka muuten pääsisi ilmakehään, ja toisaalta tuottamalla uusiutuvaa energiaa, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita.

Biokaasulaitoksilla on monia ympäristöhyötyjä, mutta laitosten toiminnasta voi aiheutua myös päästöjä ympäristöön. Biokaasun tuotannon paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT, best available techniques) –hankkeessa on huomioitu biokaasutuotantolaitoksen ympäristönäkökohdat ja pyritty määrittelemään biokaasulaitoksille parhaat käytettävissä olevat tekniikat ja menetelmät ympäristöasioiden hallitsemiseksi sekä päästöjen vähentämiseksi. BAT-päätelmien tukena on hyödynnetty EU-tasolla valmisteltua, komission v. 2006 hyväksymää jätteiden käsittelyn BAT-vertailuasiakirjaa (BREF) ja sen sisältämiä jätteen biologista (anaerobista) käsittelyä koskevia osia.

Biokaasutuotannon BAT-selvityksessä on tarkasteltu erityisesti suomalaisissa biokaasulaitoksissa käytössä olevia tekniikoita ja laitosten ympäristönäkökohtia. Näin ollen selvityksessä esitetyt tiedot koskevat pääosin märkäprosessilla toimivia biokaasulaitoksia. Lisäksi on tehty lyhyt katsaus ulkomailla ja tulevaisuudessa myös Suomessa mahdollisesti käytettäviin tekniikoihin. Selvityksen sisältö ja rakenne ovat yhteneväiset Suomessa aiemmin eri toimialoille laadittujen kansallisten BAT-selvitysten kanssa.

Tämä BAT-selvitys on laadittu viranomaisten, toiminnanharjoittajien ja laitevalmistajien kanssa toteutettuna yhteistyönä. Selvityksen on laatinut Bionova Engineering ja työtä on ohjannut ja kommentoinut biokaasutuotannon BAT-toimialaryhmä, johon kuuluivat:

Aalto Aimo  
Työ- ja elinkeinoministeriö

Lithen Nisse  
Stormossen Oy Ab

Ekholm Esa  
Lahden Tiede- ja yrityspuisto Oy

Myllymaa Tuuli  
Suomen ympäristökeskus

Hakala Irina  
Suomen ympäristökeskus

Rainio Kristiina  
Lounais-Suomen ympäristökeskus

Heilä Jyrki  
Biovakka Oy

Rautanen Juha  
Motiva Oy

Hemnell Kurt Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto (MTK)	Saarinen Risto Suomen ympäristökeskus
Hyvärinen Pauli YIT Environment Oy	Salminen Pirjo Maa- ja metsätalousministeriö
Jokela Petri Tampereen Vesi	Seppänen Ari Ympäristöministeriö
Kangas Ari Suomen ympäristökeskus	Sundquist Heikki Sitra
Kettunen Vesa Kemira Oyj	Suvilampi Juhani Watrec Oy
Leinonen Antti Suomen biokaasuyhdistys	Vainio-Mattila Birgitta Maa- ja metsätalousministeriö
Lillman Jouni Lahti Aqua Oy	Vuorinen Arja Elintarviketurvallisuusvirasto (Evira)

Erityiskiitokset haluamme esittää lisäksi asiantuntijatarkastajille, Juhani Suvilammelle ja Ari Kankaalle.

Helsingissä 15.5.2009

Markus Latvala	Bionova Engineering
Risto Saarinen	Suomen ympäristökeskus

## SISÄLLYS

<b>Alkusanat</b> .....	3
<b>1 Johdanto</b> .....	9
1.1 Työn taustaa ja rajaus .....	9
<b>2 Suomen biokaasulaitokset</b> .....	10
2.1 Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset .....	11
2.2 Maatalouden biokaasulaitokset.....	12
2.3 Yhteiskäsittelylaitokset .....	13
2.4 Suunnitteilla ja rakenteilla olevat biokaasulaitokset Suomessa .....	14
<b>3 Sovellettavasta ympäristö- ja muusta lainsäädännöstä</b> .....	15
3.1 Ympäristönsuojelulaki ja ympäristölupa.....	15
3.1.1 Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT).....	15
3.2 Sivutuoteasetus .....	16
3.3 Lannoitevalmistelainsäädäntö.....	17
3.4 Muusta lainsäädännöstä.....	18
<b>4 Laitostyyppien erot</b> .....	19
<b>5 Syötteiden vastaanotto ja esikäsittely</b> .....	22
5.1 Vastaanotettavat syötteet.....	22
5.2 Esikäsittelytekniikat.....	23
5.3 Syötesekoksen valmistaminen .....	24
5.3.1 Kuiva-ainepitoisuuden hallinta.....	24
5.3.2 Orgaanisen kuormituksen hallinta .....	25
5.4 Maatilalaitokset.....	26
5.5 Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset.....	27
5.6 Yhteiskäsittelylaitokset .....	28
<b>6 Biokaasureaktorin toiminta ja prosessit</b> .....	29
6.1 Anaerobinen hajoaminen.....	29
6.2 Reaktortyyppit .....	30
6.2.1 Täyssekoitusreaktori .....	30
6.2.2 Tulppavirtausreaktori.....	31
6.3 Sekoitus.....	31
6.4 Kuivaprosessi.....	32
6.4.1 Jatkuva toiminen tulppavirtaus-kuivaprosessi.....	32
6.4.2 Panostoiminen kuivaprosessi .....	33

<b>7 Biokaasuprosessin hallinta</b>	34
7.1 Lämpötila	34
7.2 Kuormitus ja pH	34
7.3 Viipymäaika	35
7.4 Haihtuvat rasvahapot ja alkaliteetti	36
7.5 Inhibitiot	36
7.6 Reaktori	37
<b>8 Hygienisointi ja sterilointi</b>	38
<b>9 Biokaasun käsittely ja varastointi</b>	40
9.1 Maatilalaitokset	40
9.2 Jätevedenpuhdistamot	40
9.3 Yhteiskäsittelylaitokset	41
9.4 Biokaasun puhdistus	41
9.4.1 Siloksaanit	42
9.4.2 Rikkivety	42
<b>10 Biokaasun käyttö</b>	44
10.1 Hyödyntämistavan valinta	44
10.1.1 Lämmityskäyttö	45
10.1.2 Sähkön ja lämmön tuotanto (CHP)	45
10.1.3 Mekaaninen energia	46
10.1.4 Biokaasun jalostaminen liikennekäyttöön	47
10.2 Biokaasun soihutpoltto	48
<b>11 Käsittelyjäännöksen jälkikäsittely ja hyödyntäminen</b>	49
11.1 Loppusijoituskohteet	49
11.1.1 Lannoitevalmistekäyttö	50
11.1.2 Sijoitus kaatopaikalle	50
11.2 Käsittelyjäännöksen jatkokäsittelytekniikat	50
11.2.1 Mekaaninen kuivaus	51
11.2.2 Terminen kuivaus	52
11.2.3 Kompostointi	54
<b>12 Vesien hallinta</b>	55
12.1 Rejektivien määrä ja laatu	55
12.2 Rejktivien käsittelymenetelmät	57
12.2.1 Prosessivaihtoehdot typenpoistolle	57
12.2.2 Fosforin poisto	58
12.3 Saavutettavat puhdistustasot	58
<b>13 Päästöt ilmaan</b>	59
13.1 Kasvihuonekaasut	59
13.2 Hajupäästöt	60
13.2.1 Hajupäästöjen määrittäminen	61



13.3 Yhteiskäsittely- ja jätevedenpuhdistamoiden laitokset.....	61
13.3.1 Hajupäästöjen käsittelytavat.....	62
13.4 Maatilalaitokset.....	63
<b>14 Biokaasulaitoksen toiminnan tarkkailu ja poikkeustilanteet .....</b>	<b>64</b>
14.1 Tarkkailusuunnitelma ja omavalvonta.....	64
14.1.1 Raportointi.....	65
14.2 Tarkkailussa huomioitavaa .....	66
14.2.1 Syötteen varastointi .....	66
14.2.2 Biokaasuprosessin tarkkailu .....	66
14.2.3 Biokaasun palamisen hallinta.....	66
14.2.4 Lopputuotteen tarkkailu.....	67
14.3 Poikkeustilanteet.....	67
14.3.1 Vesipäästöt .....	67
14.3.2 Tulipalo- ja räjähdysvaara.....	67
14.3.3 Terveydelle haitalliset päästöt ilmaan .....	68
<b>15 Biokaasun tuotannon paras käytettävissä oleva tekniikka Suomessa .....</b>	<b>69</b>
15.1 Yleiset käyttö- ja suunnitteluperiaatteet .....	69
15.2 Syötteen laadun hallinta ja esikäsittely.....	70
15.2.1 Syötteen ominaisuuksien tunteminen.....	70
15.2.2 Esikäsittelytekniikan valinta .....	71
15.2.3 Syötteiden varastointi.....	72
15.3 Prosessinhallinta ja huolto.....	72
15.3.1 Laitoksen ajosuunnitelma ja seuranta päiväkirja .....	72
15.3.2 Energiatehokkuus .....	73
15.4 Biokaasun käsittely, varastointi ja hyödyntäminen.....	74
15.5 Käsittelyjäännöksen jatkokäsittely loppusijoitusta varten .....	74
15.6 Päästöt.....	75
15.6.1 Päästöt ilmaan .....	75
15.6.2 Päästöt vesiin.....	75
15.7 Tarkkailu ja poikkeamat.....	76
<b>16 Uudet näköpiirissä olevat tekniset ratkaisut.....</b>	<b>78</b>
16.1 Lietteen kemiallinen käsittely.....	78
16.2 Syötteen ultraäänikäsittely .....	78
16.3 Prosessia stabiloivat lisäaineet.....	79
16.4 Rejektiveden haihdutus.....	79
16.5 Käsittelyjäännöksen aurinkokuivaus.....	80
16.6 Lietteen poltto .....	81
16.7 Ammoniakin strippaus.....	81
<b>17 Yhteenveto .....</b>	<b>82</b>
<b>Lähdeluettelo .....</b>	<b>85</b>

<b>Sanasto ja termit</b> .....	87
<b>Liite 1. Laitoshyväksyntä tuotettaessa lannoitevalmisteita</b> .....	89
<b>Liite 2. Case-esimerkit erityyppisten laitosten prosesseista</b> .....	90
<b>Kuvailulehti</b> .....	112
<b>Presentationsblad</b> .....	113
<b>Documentationsblad</b> .....	114

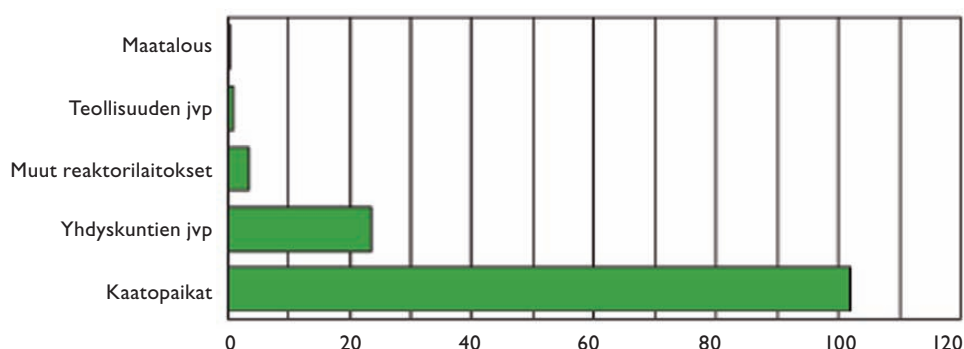
# 1 Johdanto

*Suomen ympäristönsuojelulaki edellyttää parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT, best available techniques) soveltamista ympäristölupaprosessissa. Työn tavoitteena on ollut tuottaa tietoa biokaasun tuotannon ympäristönäkökohdista. Biokaasulaitosten perustajat, käyttäjät ja laitevalmistajat sekä biokaasulaitosten lupia myöntävät ja valvovat viranomaiset voivat käyttää selvitystä vertailuinformaationa arvioidessaan parhaan käyttökelpoisen tekniikan toteutumista yksittäisellä biokaasulaitoksella.*

1.1

## Työn taustaa ja rajausta

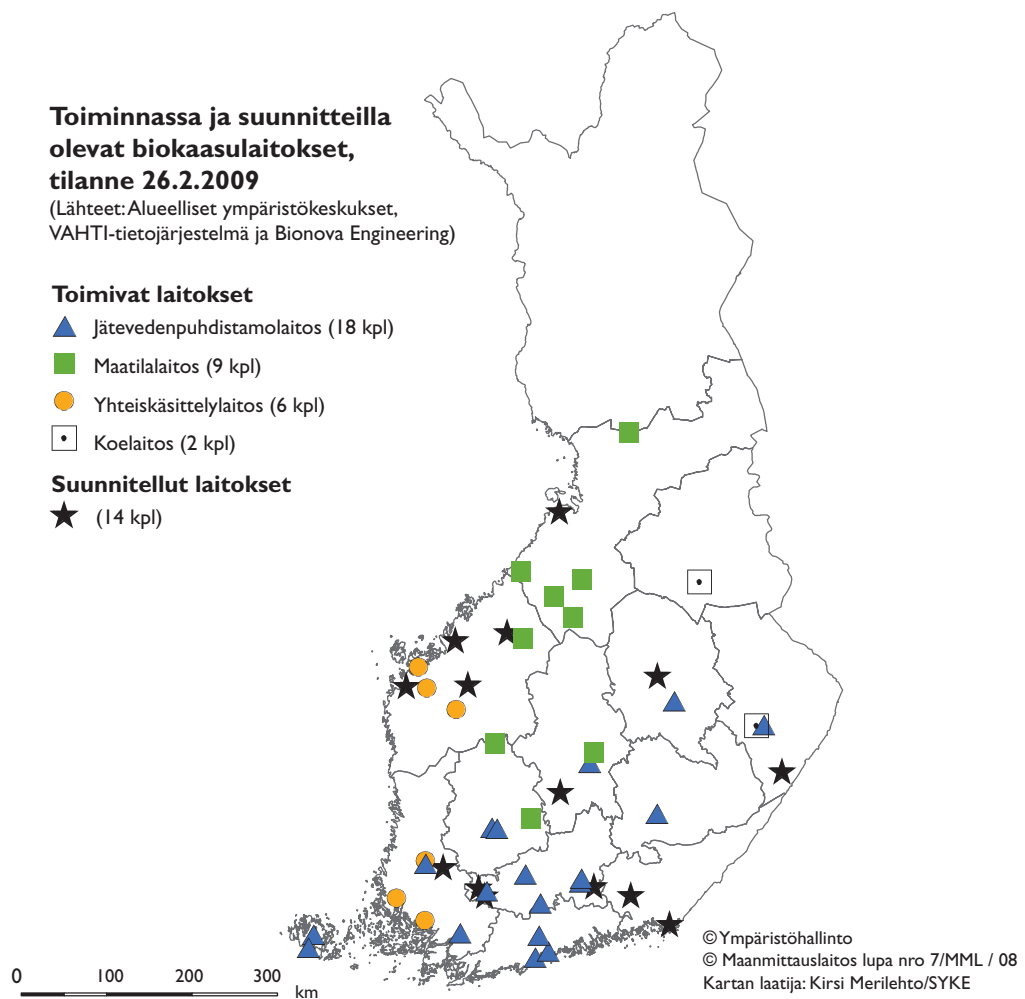
Biokaasua tuotettiin kaatopaikoilla ja reaktorilaitoksilla Suomessa noin 130 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2006. Tästä määrästä hyödynnettiin energiantuotannossa 62 %. Espoon Ämmäsuon kaatopaikka on suurin yksittäinen biokaasuntuottaja Suomessa.<sup>1</sup> Suurin osa biokaasusta Suomessa syntyy kaatopaikoilla, mutta sen hyötykäyttö on hankalaa, koska kaatopaikkojen lähellä ei yleensä sijaitse energiaa kuluttavia kohteita. Paljon kaatopaikkoja on jo suljettu ja suljettujen kaatopaikkojen kaasuntuotantopotentiaali vähenee ajan myötä. Tässä selvityksessä ei ole tarkasteltu kaatopaikkakaasun talteenottoa.



Kuva 1. Biokaasun tuotanto Suomessa laitostyypeittäin vuonna 2006.

## 2 Suomen biokaasulaitokset

Tässä selvityksessä biokaasulaitokset on jaettu kolmeen päätyyppiin; jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset, maatilojen yhteydessä olevat pienet (syötteen määrä < 5000 t/a) ja pääosin oman tilan lantaa käsittelevät laitokset sekä ns. yhteiskäsittelylaitokset, joissa voidaan käsitellä laadultaan ja koostumukseltaan hyvinkin erityyppisiä syötteitä. Teollisuuden omia biokaasulaitoksia ei ole käsitelty tässä selvityksessä omana laitostyyppinään, koska teollisuudesta peräisin olevia lietteitä tai muita biologisesti hajoavia orgaanisia syötteitä voidaan käsitellä kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla tai yhteiskäsittelylaitoksilla.



Kuva 2. Toimivat ja suunnitteilla olevat biokaasulaitokset Suomessa.

Suomessa toimi vuoden 2008 lopussa jätevedenpuhdistamoilla 18 biokaasulaitosta. Maatilalaitoksia oli toiminnassa 9 kpl ja yhteiskäsittelylaitoksia 6 kpl. Teollisuuden lietteitä käsiteltiin anaerobisesti kahdessa laitoksessa, Chips Oy:llä Ahvenanmaalla sekä Lännen tehtailla Säkylässä. Kartalla nämä laitokset sisältyvät jätevedenpuhdistamoiden laitoksiin.

## 2.1

### Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset

Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla toimivat biokaasulaitokset käsittelevät pääasiassa jätevedenpuhdistusprosessissa muodostuvaa lietettä ja teollisuuden lietteitä. Jätevedenpuhdistamoilla on ollut biokaasulaitoksia jo kymmeniä vuosia ja suurin osa käynnissä olevista laitoksista on rakennettu 1980-luvun aikana. Pienten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla ei biokaasulaitoksia toistaiseksi ole nähty kustannustehokkaana ratkaisuna. Tulevaisuudessa käsittelylaitoksia täytyy saneerata tai rakentaa uudelleen, jolloin vaihtoehtoa joudutaan punnitsemaan uudelleen. Energiakustannusten nousu lisää osaltaan painetta biokaasuntuotantoon, koska sen avulla on mahdollista tuottaa jätevedenpuhdistamon tarvitsemaa sähköä ja lämpöä lietteistä.

Huolimatta biokaasulaitosten reaktoreiden melko korkeasta iästä ei laitoksilla ole esiintynyt merkittäviä ongelmia, vaan laitokset ovat käynnistyttyään saaneet toimia ilman pitkiä käyttökatoja. Vain muutamalla laitoksella on tehty reaktoreiden tyhjentämistä vaativia huoltotoimia ja useimmat isot remontit ovat liittyneet lähinnä sekoittimien uusimisiin tai kaasulinjaston kunnostamiseen.

Seuraavassa on esitetty kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden tärkeimmät parametrit, kuten laitoksen rakennusvuosi, syötteet, laitoksen kapasiteetti, tuotetun biokaasun määrä vuodessa sekä sen hyödyntämistapa. Tyypillisesti biokaasu käytetään yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon (CHP, Combined heat and power).

Taulukko 1. Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset.

Jäteveden puhdistamo	Rakennusvuosi	Syötteet	Reaktori-kapasiteetti (m <sup>3</sup> )	Biokaasua (m <sup>3</sup> /a)	Biokaasun hyödyntämistapa
Espoon Vesi	1981	Jätevesilietteet	2 x 6000	2 900 000	CHP
Forssan vesihuoltolaitos	1999	Jätevesilietteet	1475	318 000	CHP, höyry
Helsingin Vesi	1994	Jätevesilietteet	4 x 10 000	10 000 000	CHP, lämpö
Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy	1988	Jätevesilietteet	3000	740 000	CHP
Joensuun vesi	1987	Jätevesilietteet	2 x 2000	817 000	CHP
Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy	1987	Jätevesilietteet	2 x 2750	1 594 000	CHP, lämpö, mek. energia
Kuopion Vesi	1987	Jätevesilietteet	2 x 3000	1 098 000	CHP, lämpö
LV Lahti Vesi Oy	1976 ja 1981	Jätevesilietteet	2 x 2000 2 x 4000	1 800 000	Lämpö
Maarianhaminan jätevedenpuhdistamo	1979	Jätevesilietteet	2000	275 000	CHP, lämpö
Mikkelin vesilaitos	1962	Jätevesilietteet	2000	370 000	Lämpö
Riihimäen kaupungin vesilaitos	1974 ja 2005	Jätevesilietteet	1500 800	670 000	CHP
Salon kaupungin vesi- ja viemärilaitos	1982	Jätevesilietteet, ruokajäte	2000	326 000	Lämpö
Tampereen Vesi	1962 ja 1985	Jätevesilietteet	2 x 1500 2 x 3500	2 599 000	CHP mek. energia
Klaukkalan keskuspuhdistamo	2005	Jätevesilietteet ja teollisuusliete		80 000	Lämpö

Teollisuuden biokaasulaitokset käsittelevät tyypillisesti teollisissa prosesseissa syntyviä sivutuote- tai jätevesiä. Raisio Oyj:n laitoksen toiminta on keskeytetty vuonna 2004 ja Stora Enso Oyj:n laitoksen toiminta vuonna 2006, mutta laitokset ovat edelleen olemassa.

Taulukko 2. Teollisuuden biokaasulaitokset.

Jäteveden-puhdistamo	Rakennus-vuosi	Syötteet	Reaktori-kapasiteetti (m <sup>3</sup> )	Biokaasua (m <sup>3</sup> /a)	Biokaasun hyödyntämistapa
Chips Oy Ab, Godby	1987	Perunajäte	2000	550 000	Lämpö
Lännen Tehtaat Oy, Säskylä	2000	Prosessiliete	1200	453 000	Lämpö
Raisio Oyj	1983	Tärbekelyjäte	4500	-	-
Stora Enso Oyj, Kotka	1990	Puunjalostus jätevesiliete	1500	-	-

## 2.2

### Maatalouden biokaasulaitokset

Maatalouden biokaasulaitokset ovat tyypillisesti yhden maatilan karjan- tai sianlantaa käsitteleviä laitoksia. Laitokset saattavat ottaa vastaan säännöllisesti tai epäsäännöllisesti myös muita lähistöllä syntyviä vastaavia syötteitä. Tyypillisesti maatalouden biokaasulaitokset tuottavat sähköä ja/tai lämpöä omaan käyttöönsä ja hyödyntävät käsitellyn lietteen lannoitteena pellolla. Tässä tarkastelussa maatalouden biokaasulaitoksilla käsitetään < 5 000 t/a maatalouden lietteitä tai/ja kasvibiomassaa käsitteleviä biokaasulaitoksia, joiden ympäristölupa-asiassa toimivaltainen viranomainen on kunta.

Maatiloilla muodostuvat lietteet on perinteisesti levitetty pellolle, jossa ne toimivat lannoitteena. Tiheästi asutuilla alueilla lietteiden peltolevityksestä aiheutuu usein hajuhaittoja. Lisäksi ongelmia on alueilla, joilla on korkeampi riski ravinteiden valumiselle vesistöihin. Tällaisissa tapauksissa eräs ratkaisu saattaa olla yksittäisen maatilan tai useiden maatilojen yhteinen biokaasulaitos, jota voidaan verrata myös yhteislantalaan. Käsittelemällä pelloille levitettävä liete biokaasulaitoksella, peltolevityksestä aiheutuvaa hajuhaittaa voidaan vähentää. Samalla energiaomavaraisuutta voidaan kasvattaa.

Taulukko 3. Maatilojen biokaasulaitokset.

Maatilojen biokaasulaitokset	Rakennus-vuosi	Syötteet	Reaktori-kapasiteetti (m <sup>3</sup> )	Biokaasua (m <sup>3</sup> /a)	Biokaasun hyödyntämistapa
Virtala, Haapavesi	2006	Maatalousliete	200	-	Lämpö
Koivunen, Virrat	2005	Maatalousliete, biojäte, perunajäte	320	120 000	CHP, mikroturbiini
Hannula, Kalajoki	1998	Maatalousliete	80	50 000	CHP
Junttila, Nivala	2000	Maatalousliete	50	40 000	Lämpö
Kalmari, Laukaa	1998	Maatalousliete, sokerijäte	150	60 000	Liikennekaasu, CHP
Kotimäki, Halsua	2003	Maatalousliete, entsyymiliete	250	100 000	CHP
Salmela, Orivesi	2006	Maatalousliete	280	-	-
Haapajärven ammattioppilaitos, Haapajärvi	2007	Maatalousliete	150	-	Lämpö

## Yhteiskäsittelylaitokset

Yhteiskäsittelylaitos on konsepti, joka näyttäisi olevan yleistymässä Suomessa tulevaisuudessa. Yhteiskäsittelylaitoksissa voidaan käsitellä mm. erilliskerättyä biojätettä, jätevedenpuhdistamolietteitä, teollisuuden lietteitä, kasvibiomassaa ja maatalouden lietteitä. Laitos perii tyypillisesti porttimaksua ottaessaan vastaan muiden toimijoiden jätteitä.

Yhteiskäsittelylaitokset ovat toimineet Suomessa vasta muutamia vuosia, ovat kooltaan suuria eikä niiden toiminta ole vielä vakiintunutta. Yhteiskäsittelyssä vastaanotettavat syötteen voivat myös vaihdella. Tyypillisesti biokaasu hyödynnetään sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ja käsittelyjäännös pyritään tuotteistamaan lannoitevalmistekseksi.

Seuraavassa on esitetty Suomessa toimivien yhteiskäsittelylaitosten tärkeimmät parametrit: laitoksen rakennusvuosi, syötteen, laitoksen kapasiteetti, tuotetun biokaasun määrä vuodessa sekä sen hyödyntämistapa.

Taulukko 4. Yhteiskäsittelylaitokset.

Yhteiskäsittelylaitokset	Rakennusvuosi	Syötteen	Reaktori-kapasiteetti (m <sup>3</sup> )	Biokaasua (m <sup>3</sup> /a)	Biokaasun hyödyntämistapa
Biovakka, Vehmaa	2005	Luokan 2 sivutuotteista: lanta ja ruuansulatuskanavan sisältö. Luokan 3 sivutuotteet.	6700	2 078 000	CHP
Biovakka Suomi Oy, Turku	2008	Jätevesilietteet	2 x 3500	N/A	CHP + höyrykattila
Lakeuden Etappi, Ilmajoki	2007	Luokan 3 sivutuotteista: ruokajäte ja entiset eläinperäiset elintarvikkeet sekä muut ilmoitetut luokan 3 sivutuotteet. Jätevedenpuhdistamoliete, teollisuuden biojätteet ja lietteet.	2 x 3200	-	-
Satakierto, Köyliö	2007	Luokan 3 sivutuotteet. Luokan 2 sivutuotteista: lanta ja ruuansulatuskanavan sisältö. Jätevesilietteet.	-	1 400 000	CHP, höyry
Stormossen, Vaasa	1990 ja 1994	Ruokajäte	1500	2 500 000	CHP
		Jätevesilietteet	1700		
Laihian kunta, Laihia	2003	Biojäte, mallasjäte, jätevesilietteet	310		CHP, höyry

## Suunnitteilla ja rakenteilla olevat biokaasulaitokset Suomessa

Seuraavassa on esitelty biokaasulaitoshankkeita, joita Suomessa on suunniteltu lähitulevaisuudessa toteutettavan. Tiedot perustuvat lehtitietoihin sekä Bionova Engineeringin, Suomen Biokaasuyhdistys ry:n ja muiden alan toimijoiden tietoihin tämän raportin laatimisen aikana. Luetteloon on kerätty vain sellaiset suunnitelmat, joiden takana on investoija tai jotka ovat hakeneet esimerkiksi ympäristölupaa. Esiselvitysvaiheessa olevia laitoksia ei ole huomioitu. Luettelo sisältää lähinnä maatalouden biokaasulaitoksia ja yhteiskäsittelylaitoksia.

Myös useat jätteenkäsittelyalan toimijat suunnittelevat kompostoinnin korvaamista biokaasulaitoksilla tulevaisuudessa. Laitosten (15 kpl) investointien kokonaismäärä olisi toteutuessaan yli 70 milj. euroa.

Taulukko 5. Suunnitteilla olevat biokaasulaitokset Suomessa.

Sijainti	Investointi	Kokoluokka	Syötteen	Edistyminen
Tampere / Nokia	Pirkanmaan jätehuolto Oy	20 000 t/a	Biojäte	Tarjouskilpailu 2009
Forssa	Envor Biotech Oy Investointi 5,5 M€	28 000 t/a; 2 milj. m <sup>3</sup> /a biokaasua; 2700 m <sup>3</sup> reaktori	Luokan 3 sivutuotteet, käsitelty luokan 2 sivutuotteet, lanta, jätevesilietteet, kasvijäte	Käyttöönotto 2009
Kitee	Biokymppi Oy Investointi 4,7 M€	19 000 t/a; 1 milj. m <sup>3</sup> /a metaania	Biojäte, karjanlanta, sakokaivoliete, jätevesilietteet, energia-kasvit	Ympäristölupa myönnetty 3/2008, toiminta alkaa 7/2009
Nykarleby	Jeppo Kraft Investointi 7-8 M€	90 000 t/a; 20 GWh energiaa	Sian, turkiseläinten ja lehmän lanta, perunajäte	Rakennustyöt 2009
Jämsänkoski	Jätehuolto-yhtiö Erkki Salminen ja Biovakka Suomi Oy Investointi 6-8 M€.	120 000 t/a; 43 GWh energiaa	Teollisuuden, maatalouden ja yhdyskunnan biohajoava jäte	Laitos käynnistyy 2010 lopulla
Kaustinen	Lassila & Tikanoja Oy	105 000 t/a; lämpöteho 10 MW	Jätevesilietteet, biojäte, maatalouden lietteet	YVA tehty 2004, toteutus riippuu kaivos-toiminnan alkamisesta
Nastola	Biovakka Suomi Oy Investointi 7-8 M€	60 000, 120 000 tai 240 000 t/a	Teollisuuden sivutuotteet, jäteliätteet ja biomassa	YVA -selostus valmis
Kouvola	Kymen Bioenergia Oy	19 000 t/a	Luokan 3 sivutuotteet, ruokajäte, lanta, jätevesilietteet, kasviaines	Ympäristölupa myönnetty 2008
Maaninka	Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT	< 5 000 t/a	Lanta, kasvibiomassa	Käyttöönotto keväällä 2009
Maalahti	Malax-bioenergi Ab	19 500 t/a	Lanta, jätevesilietteet, eläinperäinen jäte	Ympäristölupa myönnetty 5/2007
Siikajoki	Karinnuotta Oy	-	Lanta	Ympäristölupaa haettu 4/2007
Hämeenlinna / Hyvinkää	Kiertokapula Oy	40 000 t/a	Biojäte, jätevesilietteet	Valmistuu noin 2010
Vampula	Vambio Oy	60 000 t/a	Lanta, jätevesilietteet	Ympäristölupa myönnetty 05/2008
Nurmo / Lapua	Heikas Oy Investointi 8 M€	120 000 t/a	Teollisuusliete, lanta	Ympäristölupaa haettu 03/2008
Virolahti	Haminan Energia Oy	17 000 t/a	Tuorerehu, sakokaivoliete, luokan 3 sivutuotteet	Ympäristölupaa haettu 12/2008



## 3 Sovellettavasta ympäristö- ja muusta lainsäädännöstä

### 3.1

#### **Ympäristönsuojelulaki ja ympäristölupa**

Ympäristönsuojelulaki<sup>2</sup> on pilaantumisen torjunnan yleislaki, joka sisältää säännökset maaperän, ilman ja vesien suojelusta sekä jätehuollosta pilaantumisen ehkäisemisen kannalta. Ympäristölupa tarvitaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan ja luvan saaneen toiminnan päästöjä tai niiden vaikutuksia lisäävään tai muuhun olennaiseen toiminnan muuttamiseen. Ympäristöluvassa ympäristöhaittoja aiheuttavaa toimintaa tarkastellaan kokonaisvaltaisesti. Päästöjä maaperään, ilmaan ja veteen sekä toiminnassa muodostuvien jätteiden hallintaa on arvioitava saman-aikaisesti. Ympäristöluvan lupamääräyksiä annettaessa otetaan lisäksi huomioon paikalliset olosuhteet sekä tekniset ja taloudelliset mahdollisuudet toteuttaa ympäristöhaittoja vähentäviä toimenpiteitä. Lisäksi on tarpeen mukaan otettava huomioon energiankäytön tehokkuus sekä varautuminen onnettomuuksien ehkäisemiseen ja niiden seurausten rajoittamiseen.

Ympäristölupahakemus toimitetaan toimivaltaiselle ympäristölupaviranomaiselle. Näitä ovat ympäristölupavirasto, alueellinen ympäristökeskus ja laitoksen sijaintikunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Ympäristönsuojeluasetuksen<sup>3</sup> 5 - 7 §:ssä luetellaan kunkin lupaviranomaisen toimivaltaan kuuluvat laitokset. Laitoksia ja toimintoja voidaan tarvittaessa myös tarkastella toimintakokonaisuuksina, jolloin lupaviranomainen saattaa muuttua.

Ympäristölupahakemukseen on liitettävä lupaharkinnan kannalta tarpeellinen selvitys toiminnasta, sen vaikutuksista, asianosaisista ja muista merkityksellisistä seikoista. Hakemuksesta on tarvittaessa käytävä ilmi, mihin aineistoon ja laskenta-, tutkimus- tai arviointimenetelmään annetut tiedot perustuvat. Hakemuksen laatijalla tulee olla riittävä asiantuntemus (YSA 8 §).

Ympäristölupaa edellyttävät toiminnot on lueteltu ympäristönsuojeluasetuksen 1 §:ssä. Ympäristölupaa edellytetään esimerkiksi jätteen laitos- tai ammattimaiseen hyödyntämiseen tai käsittelyyn. Esimerkiksi biokaasulaitokselta, jossa käsitellään jätettä vähintään 5 000 tonnia vuodessa, edellytetään ympäristölupaa alueelliselta ympäristökeskukselta.

### 3.1.1

#### **Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT)**

Ympäristönsuojelulaissa parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla (BAT, Best Available Techniques) tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito- sekä käyttötapoja, joilla voidaan ehkäistä toimin-

nan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä (YSL 3 §). Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa on käytettävä parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (YSL 4 §). Ympäristöluvassa annettavien päästöraja-arvojen sekä päästöjen ehkäisemistä ja rajoittamista koskevien lupamääräysten on perustuttava parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan (YSL 43 §).

Toiminnanharjoittajaa ei kuitenkaan velvoiteta tietyn teknisen ratkaisun käyttöön, vaan valinnan vapaus jää hänelle ja laitoksen suunnittelijalle. Toiminnanharjoittajan on ympäristölupahakemuksessa esitettävä oma arvionsa parhaan käyttökelpoisen tekniikan soveltamisesta omassa toiminnassaan (YSA 9 §).

BATin määrittelyä on tarkennettu ympäristönsuojeluasetuksen 37 §:ssä, jossa on lueteltu seuraavat parhaan käyttökelpoisen tekniikan sisältöä arvioitaessa huomioonotettavat asiat:

- jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentäminen;
- käytettävien aineiden vaarallisuus sekä mahdollisuudet käyttää entistä haitattomampia aineita;
- tuotannossa käytettyjen aineiden ja siinä syntyvien jätteiden uudelleenkäytön ja hyödyntämisen mahdollisuus;
- muodostuvien päästöjen laatu, määrä ja vaikutus;
- käytettyjen raaka-aineiden laatu ja kulutus;
- energian käytön tehokkuus;
- toimintaan liittyvien riskien ja onnettomuusvaarojen ennaltaehkäisy sekä onnettomuuksien seurausten ehkäiseminen;
- parhaan käyttökelpoisen tekniikan käyttöönottamiseen liittyvä aika ja toiminnan suunnitellun aloittamisajankohdan merkitys sekä päästöjen ehkäisemisen ja rajoittamisen kustannukset ja hyödyt;
- kaikki vaikutukset ympäristöön;
- teollisessa mittakaavassa käytössä olevat tuotantoa ja päästöjen hallintaa koskevat menetelmät;
- tekniikan ja luonnontieteellisen tiedon kehitys;
- Euroopan yhteisöjen komission tai kansainvälisten toimielinten julkaisemat tiedot parhaasta käyttökelpoisesta tekniikasta.

EU:n komissio organisoi teollisuuden ja viranomaisten välillä tietojen vaihtoa parhaista käytettävissä olevista tekniikoista eri toimialoilla. Tietojen vaihdon tulokset julkaistaan englanninkielisinä BAT-vertailuasiakirjoina (BAT Reference Document, BREF). BREFejä on laadittu yli 30 toimialalta, esimerkiksi jätteiden käsittelystä. Ko. BREF-dokumenttiin on sisällytetty myös jätteiden anaerobinen käsittely. BREFien lisäksi apuna BATin toteutumisen arvioinnissa omassa toiminnassa käytetään kansallisia BAT-selvityksiä sekä muita mahdollisia tietolähteitä ja selvityksiä. Suomessa BAT-tietojen vaihtoa koordinoi Suomen ympäristökeskus. Lisätietoa BATista löytyy osoitteesta [www.ymparisto.fi/bat](http://www.ymparisto.fi/bat).

### 3.2

## Sivutuoteasetus

Biokaasulaitosten toimintaan merkittävästi vaikuttava säädös on ns. sivutuoteasetus. Tämä Euroopan parlamentin ja neuvoston antama asetus (1774/2002/EY)<sup>4</sup> koskee ”muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveyssääntöjä”, ja siinä annetaan ohjeita mm. sivutuotteiden käsittelytavoista, lopputuotteen laadusta ja hyödyntämismahdollisuuksista sekä loppusijoituksesta. Sivutuoteasetus jakaa sivutuotteet kolmeen luokkaan, joilla on erilaiset käsittelyvaatimukset.

Taulukko 6. Eläinperäisten sivutuotteiden luokittelu ja käsittelyvaatimukset biokaasulaitoksissa.

	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
Materiaali	Sivutuotteet joissa on TSE-taudin riski, tuntematon riski, tai ne sisältävät kiellettyjen aineiden tai ympäristömyrkkyjen jäämiä	Sivutuotteet joissa on muiden eläintautien kuin TSE-tautien tai eläinlääkejäämien riski	Sivutuotteet jotka on saatu ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä, mutta joita ei kuitenkaan käytetä elintarvikkeena tai sen raaka-aineena
Syötteen käsittely ennen reaktoria tai sen jälkeen	Ei sovellu käsiteltäväksi biokaasulaitoksessa	Sterilointi (133 °C, 3 bar, 20 min, partikkelikoko < 50 mm)	Hygienisointi (70 °C, 60 min, partikkelikoko < 12 mm)**
Esimerkkimateriaaleja		Lanta*, itsestään kuolleet tai muutoin kuin ihmisravinnoksi teurastetut tuotantoeläimet	Elintarviketeollisuuden sivutuotteet, ruokajäte (kansallinen hyväksyntä; ei edellytä hygienisointiyksikköä, jos termofiilinen käsittely)

\* Lantaa voidaan käyttää biokaasulaitoksen syötteenä ilman esikäsittelyä, mikäli lanta ei sisällä vakavan tartuntataudin riskiä

\*\* Myös muut prosessit voidaan hyväksyä, jos voidaan osoittaa että niillä pystytään minimoimaan biologiset riskit. Käytettävä prosessi on tällöin validoitava erikseen.

Mikäli biokaasulaitoksessa käsitellään eläinperäisiä sivutuotteita, tulee laitokselle hakea laitoshyväksyntä ennen toiminnan aloittamista. Suomessa sivutuoteasetuksen toimeenpaneva viranomainen on Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Sivutuoteasetus on tätä raporttia laadittaessa muuttumassa. Uusi asetus tulee todennäköisesti selkeyttämään monia asioita ja helpottamaan tulkintaa eri syötteiden käsittelyvaatimuksista.

### 3.3

## Lannoitevalmistelainsäädäntö

Lannoitevalmistelakia (539/2006) sovelletaan, mikäli biokaasulaitos tuottaa käsitellyjäänännöksestä lannoitevalmisteita.

Lain piiriin kuuluvat lannoitevalmisteet, soveltuvien osien niiden raaka-aineiden valmistus, lannoitevalmisteiden käyttö ja kuljetus sekä osittain myös niiden valmistus omaan käyttöön. Lannoitevalmistelakia sovelletaan myös sivutuoteasetuksen valvontaan ja täytöntöönpanoon. Lannoitevalmisteilta edellytetään tasalaatuisuutta, turvallisuutta ja sopivuutta käyttötarkoitukseensa.

Biokaasulaitoksen käsitellyjäänännöksestä voidaan valmistaa ja markkinoida vain sellaisia lannoitevalmisteita, jotka kuuluvat jonkun lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelossa olevan tyyppinimen alle (MMM 12/07 liite I). Tyyppinimittain on kuvattu tuotteen valmistusmenetelmät ja vaatimukset ja mahdolliset käytön rajoitukset, ravinteiden ja muiden ominaisuuksien vähimmäispitoisuudet, tuoteselosteessa ilmoitettavat tiedot sekä viranomaisvalvonnan analyysimenetelmät tuoteselosteessa ilmoitettavien ominaisuuksien mittaamiseksi.

Mikäli lannoitevalmiste ei sovellu mihinkään tyyppinimeen, lannoitevalmisteelle voidaan hakea uutta tyyppinimeä. Ajantasainen tyyppinimiluettelo on saatavissa osoitteessa: <http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/400001/28518>.

Lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja valvonnasta on lisäksi säädetty Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (13/2007). Asetus koskee laitoksen ilmoitus-, tiedostonpitämis-, omavalvonta- ja ennakkoilmoitusvelvollisuutta sekä laboratoriohyväksyntää. Lisäksi asetus koskee orgaanisia lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita valmistavan tai teknisesti käsittelevän laitoksen hyväksyntää sekä lannoitevalmisteita koskevan valvonnan järjestämistä.

## Muusta lainsäädännöstä

Jo biokaasulaitoksen suunnitteluvaiheessa on hyvissä ajoin otettava huomioon rakennettavan laitoksen vaikutukset ympäröivään alueeseen, kuten luonnonsuojelualueisiin ja vesistöihin.

Mikäli biokaasulaitos on mitoitettu käsittelemään vähintään 20 000 t jätettä vuodessa, siihen sovelletaan ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA). Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä on annettu laki (468/1994) ja -asetus (713/2006). Lisätietoa ympäristövaikutusten arviointimenettelystä löytyy osoitteesta [www.ymparisto.fi/yva](http://www.ymparisto.fi/yva).

Talousjätevesien käsittelyä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla säädellään asetuksella haja-asutusalueiden jätevesistä (542/2003). Jätteiden käsittelystä taas on säädetty jätelaissa (1072/1993). Jos biokaasua käsitellään suoraan sitä tuottavassa laitoksessa tai siirretään laitokselta pois, sovelletaan tältä osin vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista annettua asetusta (59/1999) ja siihen annettua lisäasetusta (484/2005). Laitoksen sisällä biokaasun käsittelyssä on huomioitava kemikaaliturvallisuuslainsäädäntö. Biokaasun varastointia ja teknistä käyttöä sekä sen siirtoon, jakeluun ja käyttöön tarkoitettuja putkistoja ja laitteita, ja niiden suunnittelua säädellään maakaasusasetuksessa (1058/1993). Jalostetun biokaasun (maakaasun) varastointi on sallittu vain turvatekniikan keskuksen (TUKES) luvalla. Lisätietoa biokaasulaitoksiin sovellettavasta muusta lainsäädännöstä on saatavilla esimerkiksi Malla2 -hankkeen loppuraportista.<sup>5</sup>

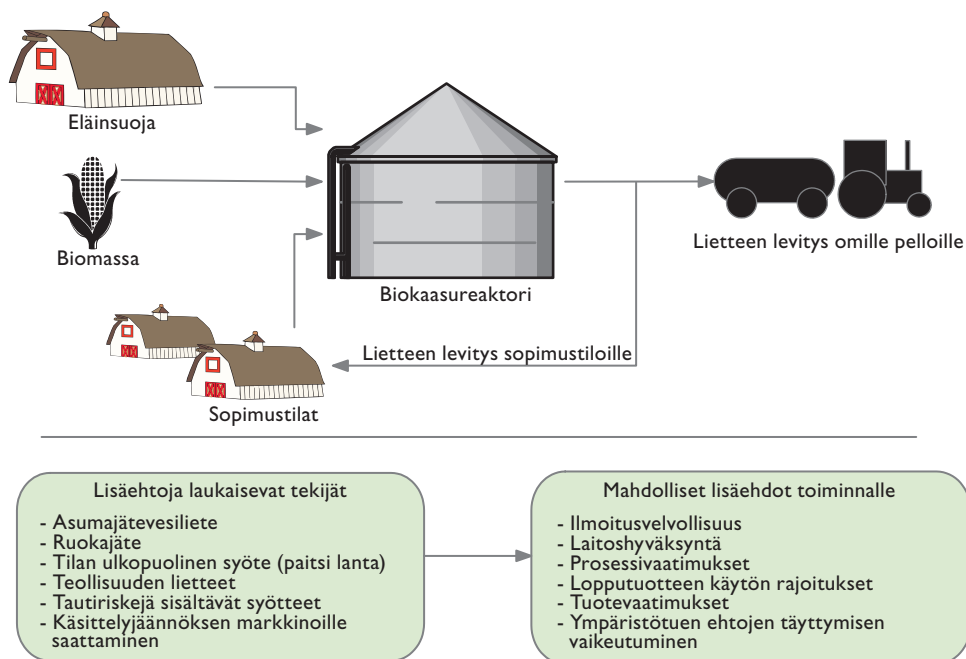
## 4 Laitostyyppien erot

Biokaasulaitokset voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan, jotka ovat:

- Maatilakokoluokan laitokset
- Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset
- Yhteiskäsittelylaitokset

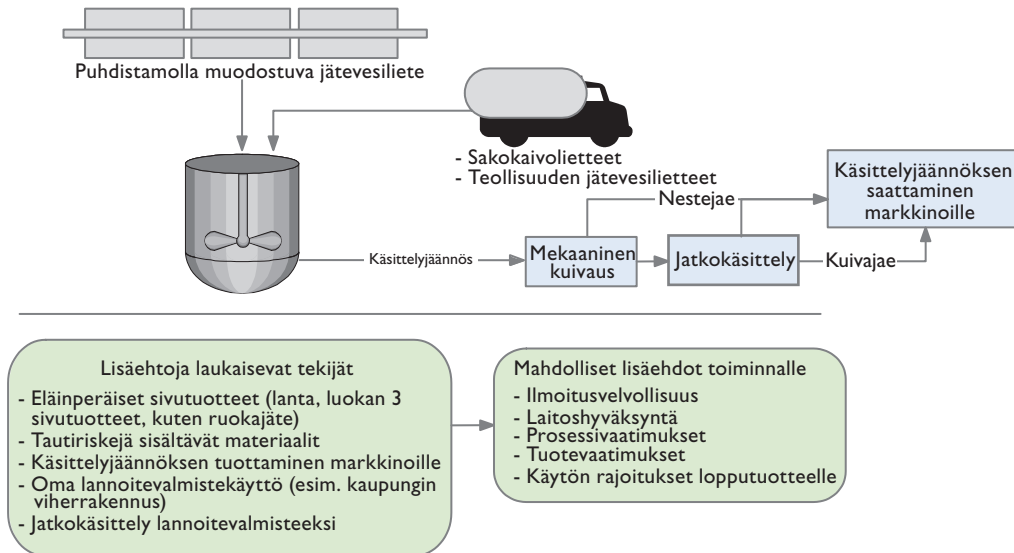
Maatilalaitoksilla käsitellään tyypillisesti vain tilan omaa tai sopimustilojen liete-lantaa sekä kasvibiomassaa. Jätevedenpuhdistamoilla käsitellään tyypillisesti yhdys-kuntien jätevesilietettä sekä muita lietteitä. Yhteiskäsittelylaitoksilla raaka-ainepohja voi olla edellisten lisäksi erilliskerättyjä biojätteitä, teollisuuden jätevesiä ja lietteitä ja muuta orgaanista, hajoavaa materiaalia. Tässä julkaisussa yhteiskäsittelylaitoksen määrittelyyn kuuluvat myös laitokset, jotka käsittelevät vain yhtä tiettyä syötettä, kuten ruokajäte tai erilliskerätty biojäte.

Kuvissa 3 - 5 on esitetty esimerkit eri laitosyyppien toimintaperiaatteista sekä niiden yleisimmistä variaatioista. Mikäli toiminnassa aloitetaan joku kuvassa esitetty lannoitevalmistelain lisäehtoja laukaiseva tekijä, johtaa se vähintään yhden lisäehdon toteutumiseen.



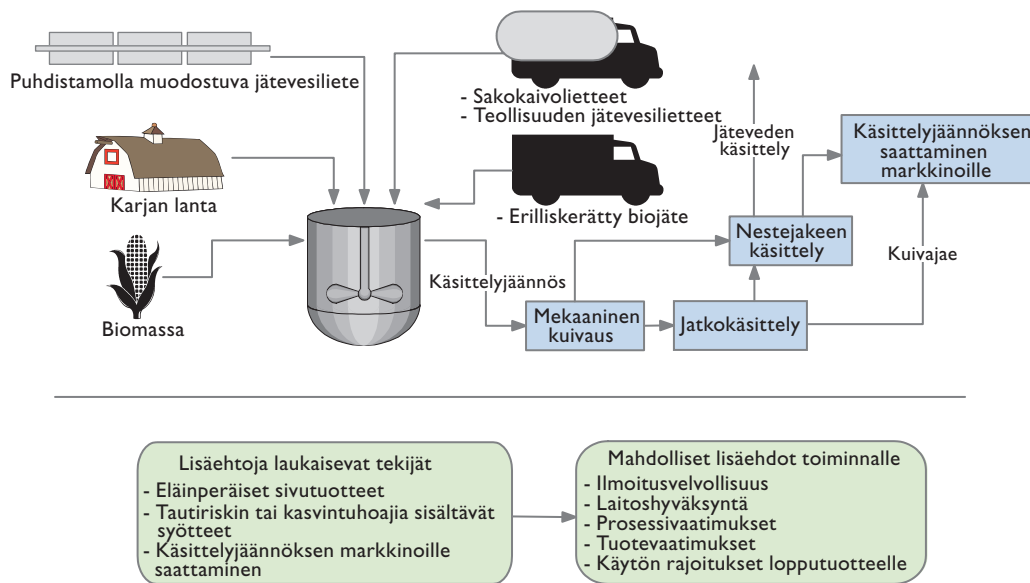
Kuva 3. Maatilan biokaasulaitoksen toimintavaihtoehdot.

Tyypillisessä tilanteessa maatalan biokaasulaitos voi käsitellä tilalla syntyvää karjan lantaa, sopimustiloilta saatavaa lantaa, sekä tilalla syntyvää kasvibiomassaa. Käsittelyjäännös hyödynnetään yleensä omien sekä sopimustilojen peltojen lannoituksessa. Tällöin käsittelyjäännöksellä ei ole tuotevaatimuksia, mutta sen käyttöä ohjaavat maatalouden ympäristötukiin liittyvät ehdot. Sivutuoteasetus tai lannoitevalmistelaki eivät aseta toiminnalle vaatimuksia.



Kuva 4. Jätevedenpuhdistamon biokaasulaitoksen toimintavaihtoehtot.

Tyypillisessä tilanteessa jätevedenpuhdistamon biokaasulaitos voi käsitellä omassa jätevedenpuhdistusprosessissa syntyvää jätevesilietettä sekä puhdistusprosessin ohi saapuvia saostuskaivolietteitä, rasvakaivolietteitä ja teollisuuden jätevesiä sekä sivuvirtoja. Käsittelyjäännös voidaan jatkokäsitellä esimerkiksi kompostoimalla, rakeistamalla, termisellä kuivauksella, tai kalkkistabiloimalla. Myös termofiilisen prosessin käyttäminen saattaa riittää käsittelyvaatimusten täyttymiseen. Mikäli toiminnassa aloitetaan joku kuvassa esitetty "lisäehtoja laukaiseva tekijä", johtaa se vähintään yhden lisäehdon toteutumiseen.



Kuva 5. Yhteiskäsittelylaitoksen toimintavaihtoehtot.

Tyypillisessä tilanteessa yhteiskäsittelylaitos voi käsitellä karjan lantaa, kasvibio-massaa, erilliskerättyä biojätettä, puhdistamolietettä, saostuskaivolietteitä sekä teolli-suuden jätevesiä ja sivuvirtoja. Käsittelyjännös kuivataan mekaanisesti ja termisesti ja saatetaan markkinoille lannoitevalmisteena. Mikäli toiminnassa aloitetaan joku kuvassa esitetty ”lisäehtoja laukaiseva tekijä”, johtaa se vähintään yhden lisäehdon toteutumiseen.

## 5 Syötteiden vastaanotto ja esikäsittely

Syötteiden esikäsittelyä tarvitaan prosessin häiriöttömyyden ja tehokkuuden varmistamiseksi sekä lainsäädännön vaatimuksista.

Syötteiden vastaanoton ja esikäsittelyn tekniset ratkaisut ovat oleellisia sekä laitoksen toiminnan, että ympäristönäkökohtien kannalta. Vastaanottovaiheessa korostuu riski esimerkiksi hajupäästöjen syntymiselle. Hajupäästöjen minimointi ja halutun syöteseoksen valmistus määräävät syötteiden vastaanoton tekniset valinnat.

Syötteiden vastaanotto ja erityisesti syöteseoksen esikäsittelyn ratkaisut poikkeavat erityyppisillä laitoksilla merkittävästi. Yksinkertaisimpia ovat maatilojen biokaasulaitokset, jotka toimivat hyvin pelkistetyksi ja minimaalisilla esikäsittelytekniikoilla. Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset toimivat osana normaalia yhdyskuntajäteveden puhdistamisprosessia ja ovat hyvin vakiintunutta tekniikkaa. Yhteiskäsittelylaitoksilla taas esikäsittelyn vaatimukset nousevat johtuen monipuolisista syötteistä. Eri laitostyyppisiä on esitelty case-esimerkeillä liitteessä 2.

### 5.1

#### Vastaanotettavat syötteet

Biokaasulaitoksella voidaan käsitellä mm.

- Jätevesilietteet yhdyskuntien ja teollisuuden puhdistamoilta
- Kasviperäinen jäte, sivutuotteet ja biomassa
- Eläinperäiset sivutuotteet:
  - Luokka 3: Ruokajäte ja muut luokan 3 sivutuotteet
  - Luokka 2: Lanta ja muut luokan 2 sivutuotteet

Biokaasulaitokselle ei tulisi ottaa vastaan esimerkiksi runsaasti ligniiniä tai muita anaerobisesti heikosti hajoavia syötteitä. Sen sijaan esimerkiksi runsaasti tärkkelystä sisältävät syötteet ja nopeasti hajoava glyseroli ovat biokaasun tuotoltaan hyviä lisäsyötteitä. Näidenkin osalta on tärkeää suhteuttaa lisäsyötteet halutun syöteseoksen orgaaniseen kuormaan. Esimerkiksi glyserolia voidaan käyttää säätösyötteenä, joka hajoaa nopeasti ja tuottaa paljon kaasua. Myös proteiini- ja rasvapitoiset materiaalit soveltuvat hyvin biokaasulaitoksiin, mutta myös niiden syöttösuhde on mitoitettava oikein (ks. luku 7.5 Inhibitiot).

Biokaasulaitoksella on lisäksi varmistettava, että sivutuoteasetuksen luokkaan 2 kuuluva käsitelty aine säilyy tunnistettavissa ja pidetään erillään. Steriloidut tai pastöroidut luokan 2 sivutuotteet voidaan käsitellä reaktorissa muun aineksen kanssa samanaikaisesti. Tunnistettavuus ja erillään pito koskevat vain kuljetusta ja varastointia. Luokan 1 sivutuotteita ei saa käsitellä biokaasulaitoksessa.



Taulukko 7. Esimerkkejä eri syötteiden metaanintuottopotentiaaleista.<sup>6</sup>

Syöte	Metaanintuottopotentiaali	
	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t orgaanista ainetta	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t märkäpaino
Teurastamojäte	570	150
Biojäte	500-600	100-150
Energiakasvit	300-500	30-150
Jätevesiliete	310-640	8-16
Lanta	100-400	7-20

## 5.2

## Esikäsittelytekniikat

Esikäsittelyn tarkoituksena on poistaa epäpuhtaudet käsiteltävistä syötteistä, murskata materiaali sopivaan palakokoon ja homogenisoida syöteseos. Lisäksi esikäsittelyvaiheessa säädetään syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus ja orgaaninen kuorma prosessin käynnistymisen ja toiminnan edellyttämälle tasolle. Taulukossa 8 on esitelty yleisimmät esikäsittelymenetelmät ja niiden tyypilliset käyttötarkoitukset suomalaisilla biokaasulaitoksilla.

Tarvittaessa syötteet on hygienisoitava ja steriloitava. Tätä on tarkemmin käsitelty luvussa 8. Mikäli kaikki aineet sekoitetaan keskenään, ja joku niistä on esimerkiksi hygienisoitava, tarkoittaa tämä sitä, että koko syöteseos on käsiteltävä vaativimman käsittelytavan mukaan.

Esikäsittelyssä on huomioitava myös käsittelyjäännöksen jatkokäsittelyn asettamat vaatimukset esikäsittelyn tarkkuudelle ja käsittelyjäännöksen laadulle. Esimerkiksi muovi voi aiheuttaa hankaluuksia termisessä kuivauksessa (joissakin kuivaustekniikoissa matriisilevyn tukkeutuminen tai muovin sulaminen kuumalle lämmönsiirtopinnalle) vaikka inertti aine ei häiritsisikään biokaasuprosessia.

Taulukko 8. Prosessin hallinnan kannalta oleelliset esikäsittelytekniikat.

Esikäsittely	Kuvaus	Tyypillinen käyttötarkoitus
Murskaus	Murskauslaitteisto, joka murskaa syötteiden pienempään palakokoon. Sivutuoteasetuksessa vaaditaan hygienisoitavilta syötteiltä max. 12 mm palakokoa.	Murskauksen tavoitteena on palakokoa pienentämällä saavuttaa hygienisoituminen sekä parempi käsittelyteho ja sekoitettavuus.
Homogenisointi	Syöte jauhetaan tasalaatuisiksi massaksi esim. erillisellä, mekaanisella hienontimella ja sekoitetaan muihin syötteisiin	Syötteiden saattaminen tasalaatuisiksi.
Repijä ja ylimääräisen materiaalin erottelu	Syöte-erästä hajotetaan muovipussit repijän avulla. Tämän jälkeen massa yleensä ajetaan seulontaan, jossa poistetaan muovipussien jäännökset, pakkaukset ja metallit.	Käytetään tyypillisesti erilliskerätylle biojätteelle, tai muille pakkauksia tai metalleja sisältäville syötteille.
Sakeutus	Tiivistyksellä ja sakeutuksella tarkoitetaan lietteen kuiva-ainepitoisuuden nostamista, yleensä 2 - 3-kertaiseksi, jolloin lietteen sisältämän veden määrä vähenee ja kuiva-ainepitoisuus nousee keskimäärin 4 - 5 %:iin. Yleisimpiä ovat gravitaatio- ja flotaatio-sakeuttimet. Myös koneellista sakeutusta (esim. linko, suotonauha tai rumpusiivilä) voidaan käyttää.	Paljon nestettä sisältävien syötteiden (kuten puhdistamoliete) kuiva-ainepitoisuuden säätäminen korkeammaksi.
Välppäys	Johdettaessa lietemuotoinen syöte välppäsäleikön läpi, kiinteät epäpuhtaudet saadaan erotetuksi. Välpejäte kaavitaan pois yleensä automaattisesti ja kerätään välpeäiliöön toimitettavaksi esim. kaatopaikalle.	Käytetään tyypillisesti puhdistamolietteelle tai muulle lietteelle joka sisältää kiinteitä epäpuhtauksia.

Erityyppisissä laitoksissa (maatilalaitos, yhteiskäsittely, jätevedenpuhdistamo) käytetään syötteistä riippuen hyvin erilaisia esikäsittelytapoja. Tyypillisiä esikäsittelyketjuja toiminnassa olevissa laitoksissa on kuvattu liitteessä 2.

Maatilan oma ja yhteislantaloiden lanta ja kasvijäte voidaan käsitellä tilan tai yhteislantalalan biokaasulaitoksessa ilman esikäsittelyä. Lopputuotetta pidetään tällöin kuitenkin edelleen ”käsittelemättömänä lantana” ja siihen sovelletaan mm. raakalannalle annettuja käyttösuosituksia ja sopimusmenettelyjä. Tämä koskee tilojen biokaasulaitoksia, kun käsittelyjäännös levitetään tilojen pelloille eikä lannassa tai lisätyissä kasvijätteissä ole tautiriskiä.

Jos biokaasulaitoksella käsitellään puhdistamolietettä, joka jatkokäsittellään jollain toisella laitoksella, sitä ei tarvitse hygienisoida biokaasulaitoksella. Tällöin vastuu hygienisoinnista on lopputuotteen valmistajalla.

### 5.3

## Syöteseoksen valmistaminen

Biokaasulaitokselle saatetaan tarjota esimerkiksi teollisista prosesseista syntyviä, aiemmin tuntemattomia sivutuotevirtoja käsiteltäväksi. Tällaiset syötteet saattavat sisältää runsaasti orgaanisia aineita, ja ovat siksi houkuttelevia lisäsyötteitä. Tällöin ei kuitenkaan välttämättä ole tiedossa, mitä syöte tarkkaan ottaen sisältää tai miten se käyttäytyy biokaasuprosessissa. Tuntemattomista syötteistä saattaa syntyä ongelmia kuiva-ainepitoisuuden ja orgaanisen kuormituksen muuttuessa tai prosessia inhiboivien tekijöiden vuoksi. Tämä voi vaikuttaa myös käsittelyjäännösten jatkokäsittelyyn tai jatkokäyttöön.

#### 5.3.1

### Kuiva-ainepitoisuuden hallinta

Biokaasulaitoksen toiminnan kannalta oleellisia parametrejä ovat syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus (TS, Total Solids) sekä kuiva-aineen hehkutushäviö, jolla arvioidaan orgaanisen aineen pitoisuutta (VS, Volatile Solids). Näihin pystytään vaikuttamaan esikäsittelyllä ja syötteiden sekoitussuhteilla.

Biokaasulaitoksen valmistajan tulisi määritellä yläraja syötteen kuiva-ainepitoisuudelle (TS). Biokaasulaitoksissa liete- eli märkäprosessilla käsiteltävät syötteet sisältävät yleensä kuiva-ainetta alle 15 % kokonaispainostaan. Mikäli märkäprosessilla toimivaksi suunniteltuun laitokseen syötetään liian kuivaa syötettä, nousee riski sekoittimien ja pumppujen toimintahäiriöille ja rikkoontumiselle. Riittämätön sekoittaminen voi johtaa syötteen huonoon käsittelytulokseen. Laiterikkojen vuoksi taas koko laitoksen toiminta saatetaan joutua keskeyttämään, jolloin sen käynnistäminen uudelleen saattaa viedä useita viikkoja, jopa kuukausia. Laitoksen vakavat toimintahäiriöt voivat johtaa käsiteltävien syötteiden varastointiin tarpeettoman pitkiä aikoja, hajuhaittoihin sekä muihin ympäristöhaittoihin. Kuivia materiaaleja voidaan syöttää myös suoraan biokaasureaktoriin erillisellä syöttölaitteella, vaikka kyse olisi märkäprosessissa. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon sekoittuminen reaktorissa ja haluttu syöttösuhde.

Mikäli vastaanotettavat syötteet ovat kuiva-ainepitoisuudeltaan liian korkeita (esimerkiksi kuivalanta, peltobiomassat, kuivattu liete), ne tulee sekoittaa kosteampiin syötteisiin (esimerkiksi lietelanta, puhdistamoliete) ennen reaktoriin syöttämistä. Tavoitteena tulee olla syöteseos, jonka kuiva-ainepitoisuus ei ylitä laitokselle asetettua ylärajaa. Syötteeseen on mahdollista lisätä myös vettä kuiva-ainepitoisuuden alentamiseksi. Laitoksen käsittelemät syötteet saattavat vaihdella kausittain, jolloin tiettyä syötettä saattaa olla käytettävissä runsaasti tai ei lainkaan.

Alla on suuntaa antava esimerkki syöteseoksesta, jossa on pumpattavuuden kannalta sopivassa suhteessa useita erityyppisiä kuiva-ainepitoisuudeltaan merkittävästi vaihtelevia syötteitä.

Taulukko 9. Esimerkki kuiva-ainepitoisuudeltaan alle 15 % syöteseoksesta (TS<15%).

Syöte	Syötteen määrä (kg)	TS % märkäpainosta	TSkg / erä
Lietelanta	450	6,50 %	29,25
Peltobiomassa	165	30 %	49,50
Puhdistamoliete	250	5 %	12,50
Biojäte	135	25 %	33,75
Yhteensä	1000		125,00
Syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus		12,50 %	

### 5.3.2

## Orgaanisen kuormituksen hallinta

Käsittelytuloksen kannalta on tärkeää että orgaaninen aines hajoaa mahdollisimman hyvin. Biokaasun sisältämä metaani (CH<sub>4</sub>) muodostuu syötteen sisältämän orgaanisen aineksen (VS) hajotessa. Näin ollen biokaasua syntyy sitä enemmän, mitä enemmän helposti hajoavaa orgaanista ainetta syötteessä on. Esimerkiksi erilliskerätyt biojätteet, teurasjäte ja peltobiomassat sisältävät runsaasti tällaista orgaanista ainetta.

Suuri kaasuntuottopotentiaali ja korkeat porttimaksut houkuttelevat syöttämään laitokseen orgaanista ainetta niin, että orgaanisen kuorman tai hydraulisen viipymän kapasiteetti ylitetään. Tällaisessa ylikuormitustilanteessa prosessi ei toimi halutusti, biokaasuntuotto laskee eikä käsittelyjännöksen laatu vastaa haluttua.

Biokaasulaitokseen syötettävän lieteseoksen kuiva-ainepitoisuuden (TS) orgaanisen aineen osuus (VS) määrittää sen, paljonko biokaasua prosessissa voi syntyä. Orgaanisen aineen osuus voidaan ilmoittaa kahdella tavalla; prosentteina kuiva-aineesta tai prosentteina kokonaismassasta. Taulukossa 10 on esimerkkiarvoja yleisimmille syötteille.

Tyypillinen biokaasulaitoksen orgaaninen kuormitus on noin 3 - 9 kiloa orgaanista ainetta reaktorin nestetilavuutta ja vuorokautta kohden laskettuna (kgVS/r-m<sup>3</sup>/d). Myös vertaamalla syöteseoksen teoreettista biokaasupotentiaalia ja tuotetun biokaasun määrää, saadaan käsitys siitä, kuinka optimaalisesti laitos toimii. Jos biokaasun tuotto on huomattavasti oletettua pienempi, on viipymä liian lyhyt suhteessa kuormitukseen tai prosessissa on muu häiriö.

Taulukko 10. Syötteiden orgaanisen aineen pitoisuuksia ja metaanintuottopotentiaaleja.<sup>7,8</sup>

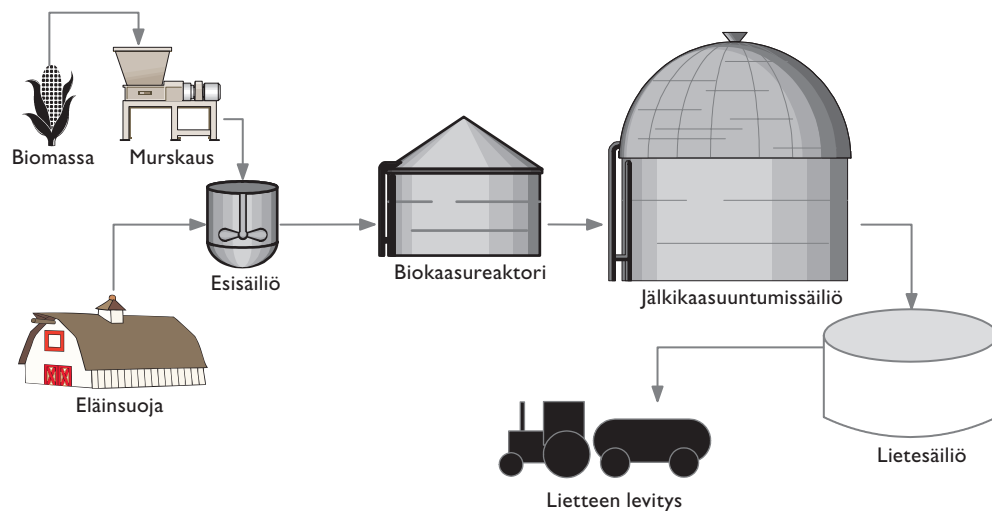
Syöte	TS %	VS %	VS / TS – suhde	VS kokonais- painosta (kg/t)	CH <sub>4</sub> tuotto l/kgVS	CH <sub>4</sub> tuotto (m <sup>3</sup> /t)
Puhdistamoliete	5 %	3 %	60 %	30	150	5
Lehmän lanta	6,5 %	5,3 %	82 %	53	175	9
Biojäte	40 %	28 %	70 %	210	550	116
Nurmi	30 %	27,9 %	93 %	279	400	112
Sokerijuurikas	20 %	17,9 %	89 %	179	229	41

## Maatilalaitokset

Maatilan yhteydessä toimivat pienet biokaasulaitokset (syötteen määrä < 5 000 t/a) käsittelevät tyypillisesti vain omalla tilalla syntyvää karjan lantaa. Laitoksilla voidaan käsitellä myös lähialueen muiden tilojen lantaa sekä peltobiomassoja. Tyypillisesti lietelanta siirretään suoraan eläinsuojasta siirtoputkea pitkin esisäiliöön, josta se pumpataan biokaasureaktoriin.

Esisäiliössä on usein myös sekoitin ja esilämmitin, jolla lietelanta saadaan tasalaatuiseksi ja valmistetaan syötettäväksi seokseksi. Peltobiomassoja (esimerkiksi ylituotannon säilörehu) varten laitoksella voi olla erillinen murskain, joka syöttää murskatun biomassan suoraan esisäiliöön. Kasvibiomassa voidaan myös hienontaa silppurilla tai apevaunulla ja syöttää erillisellä syöttölaitteella suoraan reaktoriin. Syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus märkäprosessia käyttävässä laitoksessa on tyypillisesti noin 5 - 15 %.

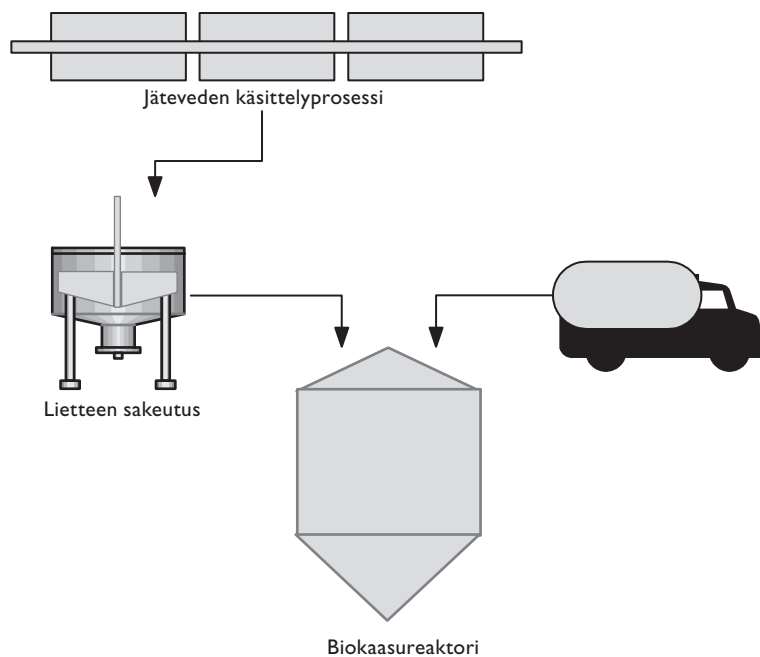
Hajua aiheuttavat yhdisteet hajoavat prosessissa ja vähentävät tilan hajupäästöjä merkittävästi. Näin ollen hajukaasuja ei tyypillisesti käsitellä maatilojen biokaasulaitoksilla.



Kuva 6. Syötteen vastaanotto ja esikäsittely maatilalaitoksilla.

## Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset

Jätevedenpuhdistamoilla on toiminut biokaasulaitoksia jo kymmeniä vuosia, minkä vuoksi prosessit ovat melko vakiintuneita. Tyypillisesti syöteseos on yhdyskuntajätevesilietettä, joka johdetaan siirtoputkella normaalista jätevedenkäsittelyprosessista sakeutusaltaaseen. Sakeutuksessa lietteen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan tasolle 2 - 8 %, jonka jälkeen se syötetään biokaasureaktoriin. Syötteeksi voidaan myös pumpata suoraan esimerkiksi teollisuuden jätevesiä tai rasvakaivolietetteitä. Hajukaasut kerätään tyypillisesti sekä normaalista jätevedenkäsittelyprosessista (lietteen esikäsitteystä ja lietteenkuivauksesta) että joissain tapauksissa myös biokaasureaktoria edeltävistä sakeutusaltaista. Tämän jälkeen hajukaasut johdetaan hajukaasunkäsittelyyn tai piipun kautta ulkoilmaan.



Kuva 7. Syötteen vastaanotto ja esikäsitteily jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla.

## Yhteiskäsittelylaitokset

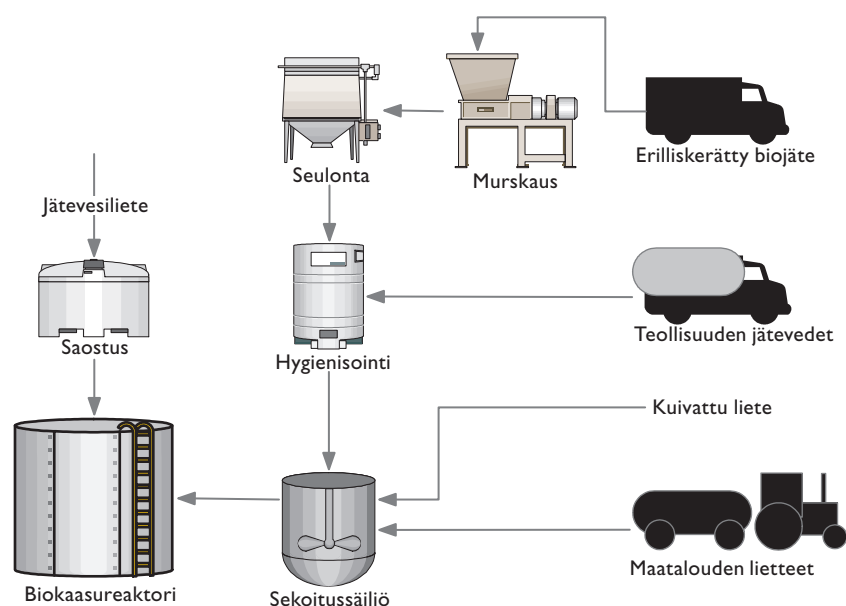
Yhteiskäsittelylaitoksia on Suomessa vasta muutamia. Ne ovat kuitenkin yleistymässä bioperäisen jätteen käsittelymuotona ja suunnitteilla onkin useita laitoksia. Laitoksilla voidaan käsitellä useita erityyppisiä jätteitä ja sivutuotteita, minkä vuoksi laitoksen prosessienohjaus on haastavampaa kuin maatilan tai jätevedenpuhdistamon biokaasulaitoksella.

Syötteet saapuvat laitokselle yleensä joko lietevaunulla tai säiliöautolla. Myös siirtoputkea voidaan käyttää, mikäli se on mahdollista etäisyyksien puolesta. Yhteiskäsittelylaitoksella tulee varautua vaihteluun syötteen varastointitilan suhteen, koska syötteiden saatavuus voi olla epäsäännöllistä. Ennen reaktoria voi olla myös useampia esisäiliöitä. Vastaanottosäiliö voi toimia myös sekoitussäiliönä tai etuvarastona.

Sivutuoteasetuksen mukaiset luokan 2 syötteet tulee varastoida vastaanotettaessa erillään luokan 3 syötteistä. Luokan 2 syötteet on syytä ohjata sterilointiin välittömästi, mikäli niitä otetaan vastaan laitokselle.

Monipuolisista syötteistä johtuen yhteiskäsittelylaitoksilla on käytössä useita eri esikäsittelymenetelmiä. Näistä tärkeimpiä ovat murskaus, seulonta, sakeuttaminen, liettäminen ja hygienisointi.

Hajukaasut kerätään kohdeilmanpoistolla niistä pisteistä, joissa niitä syntyy, ja ohjataan hajunkäsittelyyn. Tyypillisimpiä hajun lähteitä ovat avoimet vastaanottotilat, syötteen sekoitus-, ja varastointisäiliöt sekä syötteen esikäsittelyyn sekä käsittelyjännöksen jatkokäsittelyyn käytettävät laitteistot.



Kuva 8. Syötteen vastaanotto ja esikäsittely yhteiskäsittelylaitoksilla.

## 6 Biokaasureaktorin toiminta ja prosessit

Biokaasulaitoksilla, jotka toimivat märkäprosessilla, syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus on noin 5 - 15 %. Käytännössä märkäprosessin kuiva-ainepitoisuutta rajaa laitoksen pumppujen ja sekoittimien rakenteellinen kestävyys ja soveltuvuus sakeille syötteille. Kuivaprocessilla käsitetään prosessia, jossa syötteen kuiva-ainepitoisuus on välillä 20 - 50 %. Tällöin syötettä ei pystytä pumppaamaan, vaan sitä siirretään ja sekoitetaan muulla tavalla.

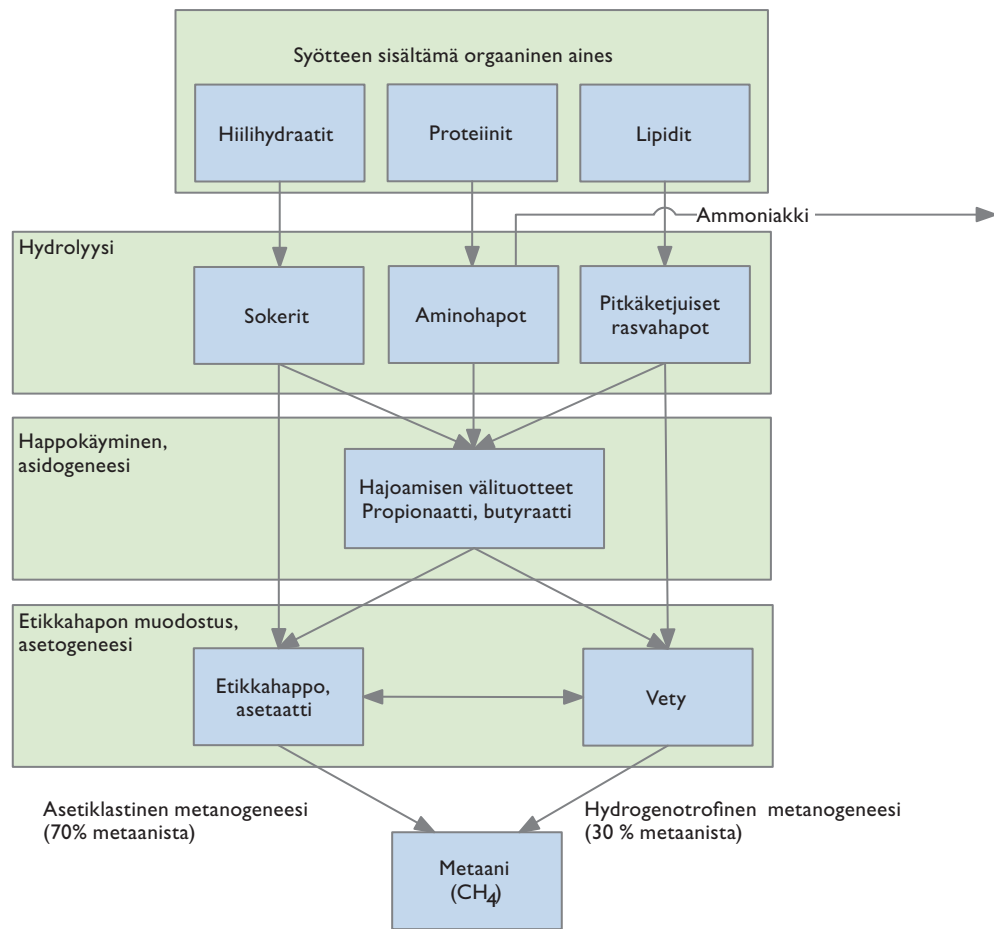
### 6.1

#### Anaerobinen hajoaminen

Anaerobisessa käsittelyssä (biokaasulaitos) käsiteltävä aines suljetaan hapettomaan reaktoriin, jonka lämpötila on noin 35 - 37 °C (mesofiilinen) tai 50 - 55 °C (termofiilinen). Lämpötilaoptiminsa mukaan prosessissa elää erilaisia, orgaanisen aineen hajoamisen eri vaiheissa aktiivisia mikrobikantoja, jotka käyttävät ravinnokseen syötteessä olevaa orgaanista ainetta ja sen hajoamistuotteita.

Biokaasulaitoksen syöteseoksen orgaaninen aines sisältää mm. hiilihydraatteja, proteiineja sekä lipidejä, jotka hajoavat prosessissa ja hydrolyysivaiheessa pilkkoutuvat sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi (LCFA, long chain fatty acids). Hajoamisen edetessä happokäymisvaiheeseen muodostuu propionaattia ja butyraattia, jotka asetogeneesivaiheessa hajoavat edelleen etikkahapoksi ja vedyksi. Metaania tuottavat bakteerit muodostavat etikkahaposta ja vedystä metaania. Hydrolyysivaiheessa aminohapoista irtoava ammoniakki liukenee käsittelyjäännökseen.

Käsittelyn tuloksena syötteistä saadaan hajuttomampia ja orgaanista tyypeä hajoaa liukoiseen muotoon muiden ravinteiden pysyessä jotakuinkin ennallaan. Prosessissa syntyy biokaasua, joka sisältää pääosin metaania ( $\text{CH}_4$ ) ja hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ). Yhden liete-erän käsittelyaika on märkäprosessissa noin 12 - 30 vuorokautta riippuen käsiteltävän jätteen koostumuksesta, sekoituksesta sekä käytetystä prosessista.



Kuva 9. Syötteen anaerobinen hajoamisprosessi.

## 6.2

### Reaktortyytit

Biokaasulaitoksen reaktori on tyypillisesti pystysäiliö, joka on rakennettu betonista tai teräksestä. Reaktorin tilavuus on mitoitettava noin 20 - 30 % käsiteltävää syötemäärää suuremmaksi, jotta vaihtelulle jää varaa ja jotta reaktorissa on tilaa mahdolliselle vaahtoamiselle sekä kaasun kerääntymiselle lietemassan yläpuolelle. Reaktorin lämmitykseen käytetään tyypillisesti biokaasusta saatavaa energiaa ja jo käsitellystä lietteestä talteenotettua lämpöä. Tyypillisesti märkäprosessissa reaktorin lämmitykseen kuluu noin 10 - 40 % tuotetun biokaasun energiasta. Biokaasureaktorit voidaan jakaa kahteen perustyyppiin, jotka on esitelty seuraavissa kappaleissa.

#### 6.2.1

### Täyssekoitusreaktori

Suomessa yleisin biokaasulaitoksen toimintatapa kaikilla laitostyypeillä (maatalous, yhteiskäsittely, jätevedenpuhdistamo) on täyssekoitteinen, yksivaiheinen, mesofiilinen, jatkuvatoiminen märkäprosessi. Täyssekoitusprosessiin lisätään syötettä puoli-jatkuvasti, mutta säännöllisesti esimerkiksi kerran tunnissa tai kerran vuorokaudessa.

Myös käsittelyjäännöstä poistetaan reaktorista tasaisesti, yleensä ennen syöttöä oikovirtauksen (käsittelemättömän materiaalin suoran poiston) minimoimiseksi. Oi-



kovirtausta voidaan vähentää myös reaktorin rakenteellisilla ratkaisuilla. Poisto voi toimia myös syrjäytyksenä ylivuotoperiaatteella.

Oikovirtauksen merkitys jatkuvatoimisessa reaktorissa ei ole kovin suuri, mikäli reaktorin jälkeen syöte siirretään jälkikaasuuntumissäiliöön. Ne eivät kuitenkaan ole pakollisia ja niitä käytetään lähinnä maatilalaitoksilla. Lyhytkin viipymä kaasunke-  
räykseen liitettyssä säiliössä on edullista, sillä reaktorin käsittelyjäännös sisältää vielä hajoavaa ainesta ja tuottaa jälkikaasuksi kutsuttua biokaasua.

#### 6.2.2

### Tulppavirtausreaktori

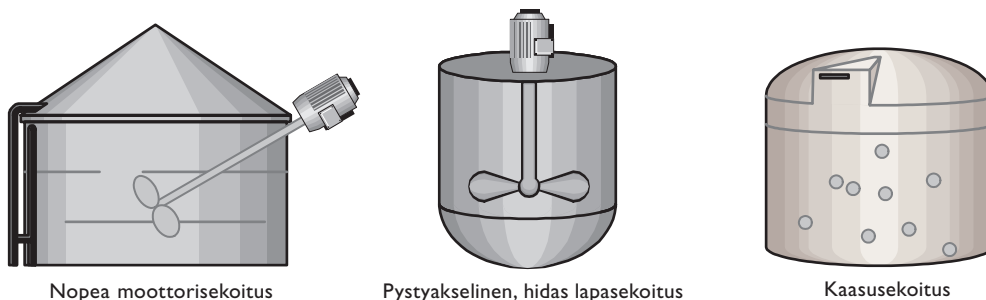
Tulppavirtausprosessi on erityisesti kuiville materiaaleille soveltuva prosessi, jossa käsiteltävä materiaali kulkee syöttöjärjestyksessä prosessin läpi. Tämän vuoksi reaktioaika on vakio. Täydellinen tulppavirtaus voi syntyä vain putkimaisessa reaktorissa jossa toisesta päästä syötetään ja toisesta päästä puretaan, eikä uudella syötteellä ole mahdollisuuksia päästä kosketuksiin vanhan syötteen kanssa. Toisaalta käsittelyjäännöstä tai prosessista kerättyä nestettä on yleensä lisättävä syöttöön oikean bakteerimassan (ymppi) siirtämiseksi syöttömateriaaliin. Lisäämällä täyssekoitteiseen reaktoriin väliseiniä tai ketjuttamalla useita täyssekoitteisia reaktoreita lähestytään täydellisen tulppavirtausreaktorin toimintaperiaatetta.

Useasta reaktorista koostuvassa tulppavirtausprosessissa eri vaiheet, hydrolyysi, happokäyminen ja metaanikäyminen, tapahtuvat toisiaan seuraavissa reaktoreissa. Olosuhteet voidaan tällaisessa tapauksessa säätää kunkin vaiheen edellyttämällä tavalla. Viipymää voidaan tarvittaessa lyhentää ja laitospakettia pienentää. Yksivaiheiseen prosessiin verrattuna monivaiheinen prosessi on monimutkaisempi ja investointikustannuksiltaan kalliimpi eikä menetelmää ole Suomessa käytössä.

#### 6.3

### Sekoitus

Reaktorissa olevaa syöteseosta tulee sekoittaa, jotta varmistetaan hyvä kontakti syöttömateriaalin ja mikrobien välillä sekä lämmön tasainen jakaantuminen. Tällöin estetään myös inhibitoita ja pintakerroksen kovettumista sekä edesautetaan biokaasun talteenottoa. Sekoittamiseen voidaan käyttää esimerkiksi pystyakseliin kiinnitettyä hidasta lapasekoitinta, nopeaa lapasekoitinta tai kaasusekoitusta. Kaasusekoituksessa muodostunutta biokaasua pumpataan reaktorin alaosaan, josta nousemallaan se sekoittaa massaa. Eri sekoitusmenetelmien yhdistely on myös melko yleistä. Maatilalaitoksilla käytetään tyypillisesti joko pystyakselillista lapasekoitusta tai ulkopuolisella moottorilla nopeasti pyöritettävää lapasekoitusta, jolloin sekoitin on helpompi huoltaa. Yhteiskäsittelylaitoksilla ja jätevedenkäsittelylaitosten biokaasulaitoksilla on käytössä kaikkia menetelmiä.



Kuva 10. Eri sekoitintyyppejä.

## Kuivaprosessi

Kuivaprosessi poikkeaa märkäprosessista pääasiassa syötteen kuiva-ainepitoisuuden osalta. Kuivaprosessin syöteseos voi olla kuiva-ainepitoisuudeltaan 15 - 60 %, jolloin sitä ei voi enää pumpata tai sekoittaa normaaleilla märkäprosessiin soveltuvilla laitteistoilla. Korkean kuiva-ainepitoisuuden ansiosta kaasuntuotanto tarvittavaan reaktoritilavuuteen ja rejektin määrään verrattuna on märkäprosessia korkeampi. Syötteen ja rejektin käsittely tapahtuu pumppujen sijasta hydraulisesti, ruuveilla tai kuormaajalla. Viipymäajat ovat normaalisti pidempiä kuin märkäprosessia käyttävissä laitoksissa.<sup>9</sup>

Kuivaprosessit ovat jaettavissa pääasiassa jatkuvatoimisiin ja panostoiimiisiin laitteisiin ja prosesseissa kierrätetään rejektivettä takaisin prosessiin. Myös kuivaprosessin käsittelyjäännös voi vaatia kuivauksen ja kuivaprosessissakin osa tuotetusta energiasta kuluu prosessin lämmitykseen. Prosesseissa viipymä on luokkaa 2 - 3 viikkoa.

Euroopassa toimii kymmeniä kuivaprosessia käyttäviä biokaasulaitoksia, pääasiassa biojätteen käsittelyssä. Suomeen on toistaiseksi rakennettu vain yksi kuivaprosessia käyttävä koelaitos MTT:n Sotkamon toimipisteessä. Seuraavassa on kuvattu yleisimmät Euroopassa käytössä olevat kuivaprosessiratkaisut.

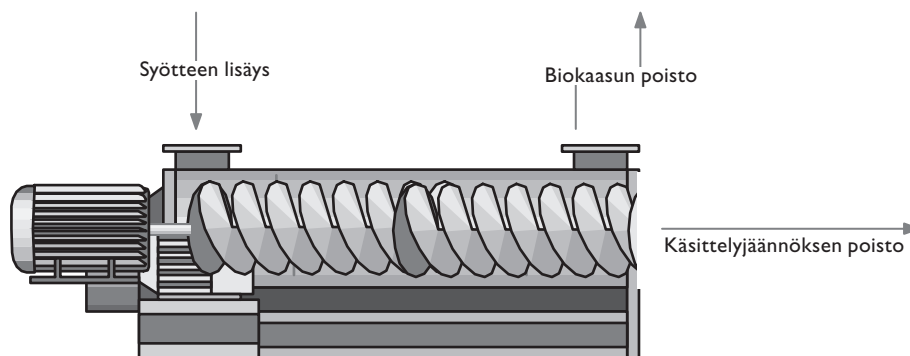
### 6.4.1

#### Jatkuvatoiminen tulppavirtaus-kuivaprosessi

Tulppavirtausperiaatteella toimivan kuivaprosessin syötteen kuiva-ainepitoisuus on noin 15 - 50 %, optimikuiva-ainepitoisuuden ollessa noin 30 %. Syöteseos voidaan koota eri kuiva-ainemääriä sisältävistä raaka-aineista.

Reaktori on yleensä vaakatasoon asennettu teräksinen tai betoninen putki, jonka sisällä on suuri ruuvi tai muu tekniikka, jolla käsiteltävää massaa siirretään putkessa eteenpäin. Samalla massa sekoittuu ja muodostuva biokaasu vapautuu kerättäväksi talteen reaktorin yläosasta.

Reaktorin loppupäästä kierrätetään rejektivettä tai käsittelyjäännöstä reaktorin alkupäähän, jossa se toimii mikrobiympyppinä. Syöttömateriaalin sisältämät epäpuhtaudet, kuten puu, korkki, muovi, metalli ja kivet eivät haittaa prosessin toimivuutta, koska ne voidaan seuloa käsittelyjäännöksestä pois ennen loppukäyttöä. Prosessi voidaan täydentää jälkikaasuyksiköllä, jolloin jäännös hajoaa edelleen ja metaania saadaan talteen enemmän. Reaktoreita voidaan myös yhdistää modulaarisesti toimimaan rinnan.



Kuva 11. Jatkuvatoimisen kuivaprosessin toimintaperiaate.

## Panostoiminen kuivaprosessi

Panostoimiset kuivaprosessit on kehitetty kompostilaitoksien pohjalta, tavoitteena hajuhaittojen ja jätemäärän vähentäminen ja energian talteenotto. Syötteen viedään kauhakuormaajalla reaktoritilaan sellaisenaan ja lajitellaan vasta prosessin jälkeen. Lajiteltaessa poistetaan biologisesti hajoamattomat aineet, kuten metallit ja muovit. Panostoiminen kuivaprosessi koostuu yleensä vähintään kahdesta lattialämmitetystä moduulista, perkolaationesteen kierrätysjärjestelmästä, kaasun talteenotto- ja puhdistusjärjestelmästä, CHP-voimalasta sekä jätteiden sekoitus- ja varastointikentästä. Uudelleen ladattavasta panosmoduulista imetään kaasu pois ja ovet avataan massan siirtämistä varten. Noin 30 - 70 % käsitellystä aineesta otetaan kauhakuormaajalla jälkikäsitelyyn, loppu sekoitetaan kuormaajalla uuteen syöttömateriaaliin.

Moduuli täytetään mahdollisimman tiiviisti ja ovet suljetaan ilmatiiviisti. Prosessi voi olla mesofiilinen tai termofiilinen ja viipymä valitaan syöttömateriaalin mukaan. Kosteus pidetään halutussa pitoisuudessa kastelemalla käsiteltävää materiaalia siitä erottuvalla ja kierrätetyllä perkolaationesteellä. Lajittelun jälkeen käsittelyjäännös voidaan sille haetun tyyppinimen mukaan jälkikompostoida tai käyttää sellaisenaan lannoitevalmisteena. Perkolaationestettä voidaan mahdollisesti käyttää myös tyyppipitoisena lannoitevalmisteena. Panosperiaatteella toimivia biokaasulaitoksia on toiminnassa Keski-Euroopassa useita kymmeniä.



Kuva 12. Panostoiminen kuivaprosessilaitos.

Taulukko II. Kuivan panosprosessin ja märkäprosessitekniikoiden vertailua.

Kriteerit	Kuivaprosessi (jatkuvatoiminen)	Kuivaprosessi (panosprosessi)	Märkäprosessi
Raaka-aineen vaatimukset	Kuiva-ainepitoisuus (TS) 20 - 40 %	Kuiva-aine pitoisuus (TS) max. 50 %	Kuiva-ainepitoisuus (TS) max. 13 %
Syötteen käsittely	Homogenisointi	Esisekoitus, tihkutus- ja kierto-tekniikka	Homogenisointi
Tyypilliset häiriöt	Murskaimen tukkeutuminen	Sprinklerin suiden sekä siivilöiden ja seulojen tukkeutuminen	Vahtoaminen, uppoava kerros, kelluva kerros
Laitos	Jatkuvatoiminen, voidaan laajentaa lisäämällä moduleja	Moduleista koostuva, panostoiminen	Yksi- tai monivaiheinen, jatkuvatoiminen
Käyttöhäiriön vaikutus	Ei suurta vaikutusta kokonaisuuteen	Vaikuttaa vain yhteen panokseen	Vaikuttaa koko prosessiin
Prosessiin vaadittu energia	Enemmän	Vähemmän (pumppu vain tihkutusvedelle)	Enemmän (homogenisointitarve)
Päästöt	Vähemmän	Vähemmän	Enemmän
Tyypilliset syötteen	Kiinteä biojäte, kuiva-lanta, energiakasvit	Kuivalanta, kiinteä biojäte, energiakasvit	Lietelanta, teollisuus- ja yhdyskuntalietteet
Hygieenisuus	Ei ongelmallinen	Ei ongelmallinen	Ongelmallisempi

## 7 Biokaasuprosessin hallinta

Olipa prosessi sitten mesofiilinen, termofiilinen, märkä tai kuiva, prosessia seurataan ja hallitaan hyvin samalla tavalla. Toimiessaan mitoituksensa ja kapasiteettinsa mukaisella tasolla automatisoitu biokaasuprosessi on varsin yksinkertainen ylläpitää. Prosessissa on kuitenkin useita parametrejä, joiden seuraaminen on tarpeen häiriötönnän toiminnan varmistamiseksi.

### 7.1

#### Lämpötila

Mesofiilinen prosessi tarkoittaa käsittelyä noin 35 - 37 °C lämpötilassa. Tämä on yleisin käytössä oleva lämpötila-alue suomalaisilla laitoksilla. Mesofiilinen lämpötila-alue ei ole merkittävän herkkä lämpötilan vaihteluille ja lisälämmityksen tarve on noin 10 - 30 % pienempi verrattuna termofiiliseen prosessiin. Käsittelyn syötettä hygienisoiva vaikutus on kuitenkin termofiilistä käsittelyä heikompi.

Termofiilinen prosessi tarkoittaa käsittelyä noin 50 - 55 °C lämpötilassa. Tämä prosessi on herkempi pH:n ja lämpötilan vaihteluille kuin mesofiilinen prosessi ja se kestää heikommin inhiboivia tekijöitä. Lisäksi se vaatii mesofiilistä prosessia enemmän lisälämmitystä lämpötilan säilyttämiseksi. Prosessin etuja ovat parempi hygienisointitulos ja mahdollisuus käyttää korkeampaa kuormitusta sekä nopeampi käsittelyaika, minkä vuoksi reaktoritilan tarve on pienempi kuin mesofiilisessa prosessissa. Termofiilistä prosessia käytetään Suomessa jatkuvasti ainakin kahdella yhteiskäsittelylaitoksella (Stormossen, Vaasa/Mustasaari sekä Satakierto, Köyliö).

### 7.2

#### Kuormitus ja pH

Kuormituksella tarkoitetaan syöteseoksen orgaanisen aineen massaa reaktorin tilavuusyksikköä ja vuorokautta kohden. Yleisesti kuormitus ilmoitetaan muodossa kgVS/r-m<sup>3</sup>/d, jolla ilmoitetaan, montako kilogrammaa orgaanista kuiva-ainetta vuorokauden aikana syötetään yhtä reaktorin nestetilavuuskuutiota kohden. Tyypillisesti kuormitus vaihtelee välillä 3 - 9 kgVS/r-m<sup>3</sup>/d.

Prosessin pH vaihtelee orgaanisesta kuormituksesta riippuen. Kuormituksen muutos voi aiheutua esimerkiksi syöteseoksen tai viipymääjan muutoksista. Liiallisesta syötöstä johtuva suuri orgaaninen kuormitus saa aikaan haponmuodostajabakteerien aktiivisuuden lisääntymistä ja hajoamisen välituotteiden, rasvahappojen pitoisuuden nousua, mikä laskee pH:ta. Tämä heikentää metaania tuottavien bakteerien elinoloja, minkä vuoksi metaanintuotto heikkenee, ja siten myös biokaasun tuotto ja kaasun metaanipitoisuus laskevat. Metaanibakteereiden optimaalinen pH-alue on välillä

6,5 - 7,5.<sup>10</sup> Mikäli syötössä on häiriöitä tai se keskeytyy, syntyy riski pH:n liialliseen nousuun. Tämä taas johtaa haponmuodostajabakteerien toiminnan häiriintymiseen ja saattaa pahimmassa tapauksessa pysäyttää koko prosessin. Haponmuodostajabakteerien optimaalinen pH-alue on välillä 5,2 - 6,3.<sup>11</sup>

### 7.3

## Viipymäaika

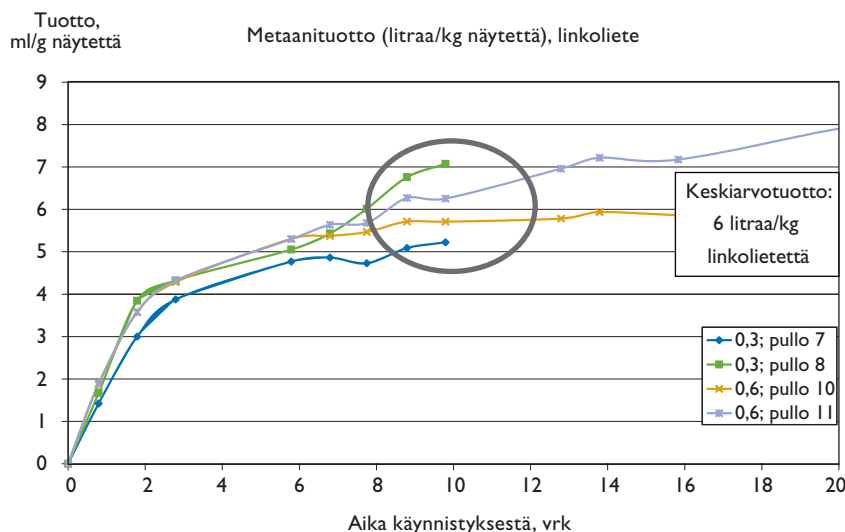
Viipymääjalla tarkoitetaan syöteseoksen hydraulista viipymää reaktorissa. Tarvittavan viipymän pituuteen vaikuttavat materiaalin tasalaatuisuus ja kuiva-ainepitoisuus (TS), orgaanisen aineen määrä (VS), käytettävä prosessilämpötila sekä reaktorin tilavuus ja sekoitus. Pitkällä viipymääjalla saavutetaan parempi tulos orgaanisen aineen reduktiossa sekä biokaasun määrässä. Toisaalta pitkä viipymä lisää lämmitys- ja sekoitustarvetta sekä kasvattaa investoinnin kokoa suuremman reaktorikoon vuoksi.

Liian lyhyt viipymäaika taas voi johtaa reaktorin ylikuormitukseen, jolloin biokaasuntuotto laskee ja syöttömateriaalin hajoaminen jää riittämättömäksi. Tarvittavan viipymääjan voi määrittää laboratoriotesteillä syötekohtaisesti tai oletetulle syöteseokselle jo ennen biokaasulaitoksen rakentamista. Näin saadaan tarkempi arvio tarvittavasta reaktorikapasiteetista.

Tyypillinen viipymä suomalaisilla biokaasulaitoksilla on välillä 12 - 30 vrk. Termofiilinen prosessilämpötila voi lyhentää viipymäaika muutamilla päivillä. Viipymäaika ei voi ennakolta laskea tarkasti vaan se tulee etsiä laitospohjaisesti prosessin käyttöönoton aikana syöttöä säätämällä. Tyypillisesti viipymääjan voi todeta olevan riittävä, kun käsittelyjäännöksen orgaanisen aineen reduktio on tasolla 50 - 60 % eikä biokaasun tuotannossa esiinny merkittävää vaihtelua.

Pidempi viipymäaika parantaa oleellisesti käsittelyjäännöksen hygienisoitumista. Yleisesti mesofiilisissa prosesseissa suositellaan 21 vrk viipymää.

Kuvassa 13 on esitetty kumulatiivisesti erään perunapohjaisen syötteen laboratoriotesteissä todettu metaanintuotto ajan funktiona. Kun metaania ei enää synny, voidaan orgaanisen aineen reduktion todeta olevan maksimaalinen. Tarvittava viipymäaika optimaalisissa olosuhteissa, ilman muita syötteitä on näin ollen tälle syötelle noin 8 - 12 vrk. Tätä voidaan kuitenkin pitää minimaikana, koska todellisissa laitoksissa harvoin saavutetaan laboratoriotutkimusten optimaalisia olosuhteita.



Kuva 13. Perunapohjaisen linkolietteen käsittelykokeessa syöttestä saatu kumulatiivinen metaanintuotto.<sup>12</sup>

## Haihtuvat rasvahapot ja alkaliteetti

Haihtuvat rasvahapot (VFA, Volatile Fatty Acids) muodostuvat haponmuodostusvaiheessa ja niiden pitoisuuden muutoksista voidaan tehdä johtopäätöksiä biokaasuprosessin toimivuudesta. VFA:n merkittävä lisääntyminen reaktorissa antaa viitteitä siitä, että reaktorin orgaaninen kuorma on liian suuri. Tällöin rasvahappojen määrä inhiboi mikrobitoimintaa ja johtaa prosessin heikentymiseen. Tasainen VFA-pitoisuus kuvaa tasaisesti toimivaa prosessia.

Alkaliteetti kuvaa reaktorin puskurikapasiteettia ja se ilmoitetaan muodossa mg  $\text{CaCO}_3$ /l tai mmol/l. Biokaasulaitoksessa suositeltava taso on välillä 3500 - 5000 mg  $\text{CaCO}_3$ /l. Alkaliteettititrauksen yhteydessä voidaan määrittää haihtuvien rasvahappojen puskuroimiseen tarvittava alkaliteetti, joka edustaa VFA-pitoisuutta reaktorissa. VFA:n ja kokonaisalkaliteetin suhdetta seuraamalla havaitaan muutokset prosessissa jo ennen kuin häiriintynyt prosessi vaikuttaa pH-tasoon. Hyvin toimivassa biokaasureaktorissa VFA/Alk. -suhde on noin 0,25 tai pienempi.<sup>11</sup>

## Inhibitiot

Inhibitio biokaasuprosessissa tarkoittaa jonkin kemiallisen tai fysikaalisen tekijän aiheuttamaa haittavaikutusta, joka häiritsee biologisen prosessin toimintaa ja voi jopa tappaa laitoksessa toimivat organismit. Inhibitio havaitaan yleensä biokaasun saannon tai sen metaanipitoisuuden laskuna.

Mikrobien kasvua tai elinolosuhteita rajoittavia eli inhiboivia yhdisteitä voi olla mukana käsiteltävissä syötteissä (esimerkiksi desinfiointi- ja puhdistusaineet, antibiootit ja raskasmetallit) tai niitä voi syntyä hajotusreitin välituotteina (esimerkiksi ammoniakki, rikkivety, VFA ja pitkäketjuiset rasvahapot). Myös vääränlainen prosessin lämpötila tai pH, riittämätön sekoitus tai nesteeseen liennut happi voivat inhiboida prosessia.

Rasvaiset syötteet sisältävät runsaasti energiaa, mutta liian suurella kuormituksella niiden hajoamisen välituotteet, pitkäketjuiset rasvahapot, voivat merkittävästi inhiboida sekä metaanintuottoa että hajoamisketjun aiempia vaiheita.

Mikäli syöteseos sisältää jatkuvasti poikkeuksellisen suuria määriä proteiinipitoista ainetta, typpiyhdisteiden (mm. ammoniakkin) pitoisuudet reaktorissa kasvavat. Pitoisuus voi nousta niin korkeaksi, että se alkaa inhiboida prosessia. Tällöin on vaarana koko prosessin pysähtyminen mikrobikannan häiriintymisen vuoksi.

Orgaanisten typpiyhdisteiden hajotessa muodostuva epäorgaaninen typpi esiintyy biokaasuprosessissa pääasiassa ionisoituneessa ammonium-muodossa, joka ei ole niin inhiboiva kuin ionisoitumaton ammoniakki. Ammoniumtyypen ja ammoniakkin pitoisuudet prosessissa riippuvat lämpötilasta ja pH:sta ja ne voidaan selvittää laskennallisesti.

Biokaasuprosessia voidaan sopeuttaa melko korkeisiin rasvahappo- ja typpipitoisuuksiin, kun kuormitusta nostetaan hitaasti. Äkkinäiset muutokset ovat merkittävästi ongelmallisempia kuin hitaat, haluttuun suuntaan tehtävät prosessimuutokset.

Toimintahäiriöiden välttämiseksi voidaan prosessia muuttaa esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- Laimentaminen vedellä tai muilla syötteillä
- Inhibitiota aiheuttavien raaka-aineiden poistaminen
- Mikrobien sopeuttaminen
- Happotasapainon säätäminen esimerkiksi lisäaineiden avulla

Taulukko 12. Eri aineiden vaikutus prosessille.<sup>13</sup>

Aine	Pitoisuus	Vaikutus
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> ja Mg <sup>2+</sup>	75 - 400 mg/l	Stimuloiva
	1 000 - 5 500 mg/l	Lievästi inhiboiva
	3 000 - 12 000 mg/l	Vahvasti inhiboiva
Ammoniakki	150 mg/l	Inhiboiva

## 7.6

## Reaktori

Reaktorin tilavuuteen ja biokaasun keräämiseen voivat aiheuttaa häiriöitä esimerkiksi pinnalle muodostuva kuiva kerros, reaktorin pohjalle laskeutuva raskas materiaali sekä syötteeseen muodostuva vaahto.

Reaktorin pohjalle laskeutuva raskas, kivistä ja metalleista muodostuva aines pienentää nestetilavuutta ja näin ollen vähentää tehokasta reaktiotilaa. Tämän vuoksi reaktoreissa on usein mahdollisuus tyhjentää se alaosasta. Puu, muovi ja muut kevyet jakeet kerääntyvät syöteseoksen pintaan, mikäli niitä pääsee reaktorin sisälle. Paras tapa ehkäistä reaktorin toimintaan liittyviä ongelmia onkin syöteseosta kevyemmän ja raskaamman aineksen tehokas poistaminen esikäsitelyssä.

Vaahtoaminen on tyypillinen ongelma biokaasulaitoksilla. Vaahtoamista voivat aiheuttaa laitoksen ylikuormitus, sekoitus, pinta-aktiiviset yhdisteet, vettä hylkivät aineet ja rihmamaiset mikrobit. Syöteseoksen muodostama vaahto voi tukkia biokaasun keräysputkia, pienentää reaktorin tilavuutta ja vaikuttaa syntyvän biokaasun määrään sekä käsittelytulokseen. Vaahtoamista voidaan hillitä pintalietteen poistojärjestelmien lisäksi esimerkiksi pinta-aktiivisuutta muuttavilla vaahtonestoaineilla. Rihmamaisia mikrobeja voidaan tarvittaessa hajottaa ultraäänikäsitelyllä. Joissain tapauksissa myös hygienisointi saattaa ehkäistä vaahtoamista. Vaahtoamisen syyn selvittäminen voi olla vaikeaa, minkä vuoksi hillintäkeinoja joudutaan kokeilemaan käytännössä. Maatilalaitoksilla on esimerkiksi käytetty menestyksellä rypsiöljyä syöteseoksessa ehkäisemään vaahton muodostumista.



## 8 Hygienisointi ja sterilointi

Kun biokaasulaitoksella valmistetaan lannoitevalmisteita, on tuotteen täytettävä kul-  
lekin tyyppinimelle määrätyt ehdot. Jos käsitellään eläinperäisiä sivutuotteita, on  
niiden keräilyssä, kuljetuksessa, käsittelyssä ja käytössä noudatettava muiden kuin  
ihmisravinnoksi tarkoitettujen, eläimistä saatavien sivutuotteiden terveyssäännöistä  
annettua Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta 1774/2002 (sivutuoteasetus).  
Mikäli laitoksella sekoitetaan useita syötteitä keskenään ennen käsittelyä, seos tulee  
käsitellä vaativimman syötteen mukaisesti. Seuraavassa on esitetty asetuksen mukai-  
set esikäsitelymenetelmät ja syötteet joille ko. käsittely tyypillisesti tehdään.

Hygienisointi tarvitaan aina, kun käsiteltävänä on luokan 3 eläinperäisiä sivutuot-  
teita. Mikäli vain kasveja ja lietettä käsittelevän laitoksen käsittelyjäännöstä toimitte-  
taan markkinoille, vaadittava hygieniataso voidaan saavuttaa myös termisellä kuiva-  
uksella tai kompostoinnilla. Termofiilinen prosessi täyttää hygienisointivaatimuksen  
tapauksissa, joissa laitoksella käsitellään ainoastaan ruokajätettä, puhdistamolietettä  
tai lantaa taikka näiden seosta. Tällöin hygienisoituminen tulee osoittaa lopputuot-  
teesta mikrobiologisin analyysin. Kaatopaikalle tai polttoon loppusijoitettavaa ai-  
nesta ei tarvitse hygienisoida.

Taulukko 13. Sivutuoteasetuksen mukaiset hygienisointi- ja sterilointivaatimukset.

Esikäsitely	Kuvaus	Tyypillisiä syötteitä
Hygienisointi	Min. 1 tunti 70 °C asteessa. Partikkeli- koko max. 12 mm. Voidaan tehdä myös prosessin jälkeen.	Luokkaan 3 kuuluvat sivutuotteet, kuten ruokajäte ja elintarvike- teollisuuden sivutuotteet.
Sterilointi	Min. 20 minuuttia 133 °C asteessa, 3 barin paineessa.	Luokan 2 eläinperäinen aines lantaa lukuunottamatta



Kuva 14. Hygienisointiyksikkö saksalaisella biokaasulaitoksella.



Hygienisoinnin vaihtoehtona on lisäksi:

**a) Prosessin validointi**

Tällöin laitoksen on osoitettava, että prosessista saatava käsittelyjäännös täyttää hygieniavaatimukset. Validoinnissa on osoitettava, että käsittelymenetelmällä on minimoitu biologiset riskit. Validoidun prosessin tulee olla toistettava ja täydellisesti määritelty. Riittäviä menetelmiä voivat syötteistä riippuen olla esimerkiksi terminen kuivaus tai termofiilinen prosessi.

**b) Kansallinen laitoshyväksyntä**

Kansallinen hyväksyntä voidaan antaa laitokselle, kun ainoana eläinperäisenä jätteenä käsitellään lantaa tai ruokajätettä tai niiden seosta.

## 9 Biokaasun käsittely ja varastointi

Biokaasuksi kutsutaan anaerobisessa prosessissa syntyvää tuotekaasua. Se sisältää pääasiassa metaania ( $\text{CH}_4$ ), hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) ja pieninä määrinä ( $< 2\%$ ) esimerkiksi happea ( $\text{O}_2$ ) ja typpeä ( $\text{N}_2$ ) sekä kosteutta, orgaanisia piiyhdisteitä (siloksaanit) ja partikkeleita. Biokaasu saattaa sisältää myös hajuhaittoja aiheuttavia kaasuja. Biokaasun sisältämä metaani on lisäksi merkittävä kasvihuoneilmiötä lisäävä kaasu, joten sen käsittely ja varastointi on järjestettävä siten, ettei sitä pääse purkautumaan ilmaan.

Biokaasun laatu on suuresti riippuvainen käytetyistä syötteistä. Näin ollen uuden syötteen lisääminen saattaa muuttaa biokaasun koostumusta. Seuraavassa on esitetty biokaasun koostumukseen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä erityyppisillä laitoksilla.

### 9.1

#### Maatilalaitokset

Maatilalaitoksilla käytetään syötteenä pääasiassa karjan lantaa, jolloin syötteen johtuen ei esiinny suuria vaihteluja kaasun komponenteissa. Maatilalaitoksien kaasussa esiintyy kuitenkin rikkivetyä ( $\text{H}_2\text{S}$ ), jolla voi olla korrodoivia vaikutuksia hyödyntämislaitteistoissa. Rikkivedyn pitoisuus vaihtelee tyypillisesti välillä 1 000 - 3 000 ppm.<sup>14</sup>

Kaasun varastointi on tyypillisesti melko lyhytaikaista ja tapahtuu joko varsinaisen reaktorin yläosassa tai katetun jälkikaasuuntumissäiliön yläosassa, jossa on kaasunkeräystä noin viidennes reaktorin kokonaistilavuudesta. Puskurivaraston koko on yleensä verraten pieni ja sillä pystytäänkin kompensoimaan vain hetkittäistä kaasuntuotannon vajetta. Mikäli biokaasureaktorin prosessi keskeytyy kokonaan, ei varastoitu kaasu riitä hyödyntämislaitteiston normaalilla teholla ajamiseen.

### 9.2

#### Jätevedenpuhdistamot

Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitosten tuottaman biokaasun komponentit eivät juurikaan vaihtelee paikallisesti. Tämä johtuu käsiteltävän syötteen suuresta määrästä, joka toimii puskurina muutoksille. Suuren volyymin ansiosta pienet poikkeamat syötteissä eivät aiheuta huomattavia muutoksia prosessissa. Eri jätevedenpuhdistamoiden tuottamat biokaasut saattavat poiketa toisistaan käsitelystä jätevedestä ja puhdistamoprosessista riippuen.

Jätevedenpuhdistamoilla tuotettu biokaasu sisältää kuitenkin tyypillisesti siloksaaneja, jotka voivat aiheuttaa ongelmia lähinnä kaasun moottorikäytössä. Siloksaanit (orgaaniset pii-yhdisteet) ovat peräisin lähinnä hius- ja kosmetiikkatuotteista, joita kulkeutuu jäteveden mukana käsittelylaitoksille, ja niitä on vaikeaa poistaa kaasusta.

Taulukossa 14 on esitetty tyypillinen jätevedenpuhdistamolla syntyvän biokaasun koostumus eri komponentteittain.

Kaasua varastoidaan tyypillisesti erillisessä kaasukellossa tai membraanisäiliöissä. Varasto on mitoitettu siten, että reaktorin kaasuntuotannon keskeytyksissä reaktorille saadaan kaasua noin 1 - 24 tunnin ajaksi. Membraanisäiliöt ovat yleensä tilavuudeltaan suurempia kuin kaasukellot.

Taulukko 14. Jätevedenpuhdistamoiden biokaasun tyypilliset komponentit ja vaihteluvälit.<sup>15</sup>

Komponentti	Vaihteluväli	Yksikkö
Metaani (CH <sub>4</sub> )	55 - 70	%
Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> )	30 - 45	%
Happi (O <sub>2</sub> )	< 0,5	%
Typpi (N <sub>2</sub> )	< 1	%
Rikkivety (H <sub>2</sub> S)	10 - 40	ppm
Ammoniakki (NH <sub>4</sub> )	< 0,2	mg/m <sup>3</sup>
Orgaaniset piyhdisteet	0,2 - 32	mg/m <sup>3</sup>
Hiukkaset	< 5	mg/m <sup>3</sup>
Kosteus (H <sub>2</sub> O)	2 - 4	%
Metyylimerkaptani (CH <sub>3</sub> SH)	< 0,005	ppm
Dimetyylisulfidi (CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub> )	< 0,005	ppm
Metyylidisulfidi (CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> )	< 0,01	ppm
Fluori (F)	< 0,2	mg/m <sup>3</sup>
Kloori (Cl)	< 2	mg/m <sup>3</sup>

### 9.3

## Yhteiskäsittelylaitokset

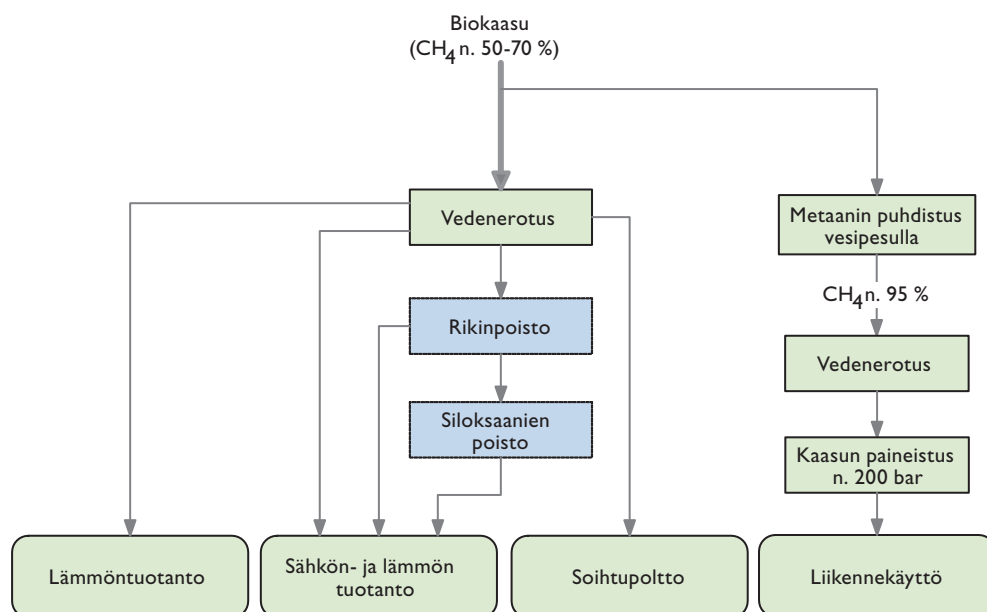
Yhteiskäsittelylaitosten tuottamassa biokaasussa esiintyy jonkin verran vaihteluita johtuen monipuolisesta syötevalikoimasta. Ongelmia voivat aiheuttaa sekä rikkivety lantaa käsiteltäessä että siloksaanit puhdistamolietettä käsiteltäessä. Yhteiskäsittelylaitoksilla biokaasua varastoidaan tyypillisesti samoilla tavoilla kuin jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksillakin.

### 9.4

## Biokaasun puhdistus

Biokaasu sisältää kaasumaisten komponenttien lisäksi aina toimintaa ja kunnossapittoa haittaavaa kosteutta, joka voidaan poistaa vedenerottimilla ennen hyötykäyttöä. Näin toimitaan käytännössä kaikilla laitoksilla. Suuret määrät rikkivetyä voivat aiheuttaa ongelmia lämmöntuotannossa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Siloksaanit aiheuttavat usein ongelmia sähkön ja lämmön yhteistuotannossa.

Biokaasu voi syötteistä riippuen sisältää myös pieniä määriä (< 10 mg/m<sup>3</sup>) fluoria, ammoniakkia ja öljyä, joista ei kuitenkaan ole haittaa biokaasun hyödyntämiselle tai muulle toiminnalle.<sup>16</sup> Merkittävimmät epäpuhtaudet biokaasussa ovat rikkivety ja siloksaanit, joista on kerrottu tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 15. Biokaasun yleisimmät käsittelytavat ja käyttötarkoitukset.

#### 9.4.1

##### Siloksaanit

Biokaasussa esiintyy kaasuanalyysien perusteella sekä lineaarisia että syklisiä metyy-lisiloksaaneja. Palamistapahtuman yhteydessä siloksaanit hapettuvat piidioksidiksi ( $\text{SiO}_2$ ), jota kerääntyy kaasumootoreiden sytytystulppiin, mäntiin ja sylinterirenkai-siin sekä öljyyn, mikä johtaa käyntiongelmiin. Myös mikroturbiinit voivat vaurioitua siloksaanien vaikutuksesta.

Syntynyt  $\text{SiO}_2$  voi aiheuttaa moottorissa nakutusta siten, että kivi alkaa hehkua ja sytyttää kaasun ennen aikaisesti. Nakutus vahingoittaa mäntää ja voi johtaa jopa män-nän kannen halkeamiseen. Konetta säätämällä voidaan nakutus saada minimiin. Täl-löin tosin teho laskee huomattavasti. Jo noin  $15 \text{ mg/Nm}^3$  siloksaaneja riittää aiheut-tamaan muutoksia kaasumootorin käynnissä, huoltoväleissä ja öljynvaihtoväleissä.

Liikennekäyttöön jalostetun kaasun käytössä ei ole esiintynyt vastaavia ongelmia kuin CHP –voimaloiden käytössä. Tämä johtuu siitä, että useimmat käytetyt biokaa-sun jalostustekniikat, etenkin vesipesu poistavat muiden epäpuhtauksien mukana tehokkaasti myös siloksaaneja. Vesipesuri pelkästään siloksaanien poistoon on kui-tenkin kallis ratkaisu, eikä se ole siksi yleistynyt Suomessa.

#### 9.4.2

##### Rikkivety

Rikkivedyn ( $\text{H}_2\text{S}$ ) pitoisuutta biokaasussa voidaan vähentää yksinkertaisimmillaan lisäämällä pientä määrää ( $< 4\%$ ) ilmaa biokaasureaktorin kaasutilaan. Reaktorimas-sassa elää fakultatiivisia bakteereja, jotka käyttävät hapen massan pinnalla ja samalla muuntavat rikkivedyn alkuainerikiksi. Maatilalaitoksissa tämä yksin voi riittää rikin poistamiseksi biokaasusta. Ilman ja sitä kautta myös nesteeseen liukenevan hapen liiallinen lisääminen inhiboi kuitenkin voimakkaasti anaerobista prosessia ja voi aiheuttaa prosessin pysähtymisen.

Toinen tapa vähentää rikkivetyä on lisätä prosessiin rautaa. Mikäli pitoisuudet ovat luokkaa 1 000 - 3 000 ppm (maatilalaitoksilla tyypillistä<sup>14</sup>), pitoisuudet saadaan laskemaan tasolle 100 ppm. Tämä on yleisesti käytetty ratkaisu maatilalaitoksilla. Sitä voidaan käyttää myös yhdessä ilmalisäyksen kanssa varmistamaan riittävän alhainen rikkivetypitoisuus kaasussa. Rikkivedyn määrästä riippuen lisättävän raudan määrä on (rautaoksidina) yleensä noin 0,1 - 5 kg/t syötettä. Reaktoriin lisätty rauta poistuu käsittelyjäännöksen mukana.

Rikkiyhdisteiden poistamiseen kaasusta voidaan käyttää myös rautaoksidipetiä, jolloin rikkivety sitoutuu noin 38 °C lämpötilassa rautasulfidina rautaoksidipetiin. Yksi tapa on ohjata biokaasu kolonneihin, joissa on joko rautaoksidilla käsiteltyjä puulastuja, alumiiniteollisuuden sivutuotteena saatavaa metalleja sisältävää savea tai jodipitoista aktiivihiltä. Hapetusreaktion seurauksena rautasulfidin rikki muuttuu alkuainerikiksi, jonka jälkeen rautaoksidia voidaan käyttää prosessissa uudelleen. Pitkäaikaisessa käytössä rikki kerääntyy rautaoksidin huokosiin, jonka jälkeen adsorptiopeti tulee vaihtaa. Prosessi toimii tehokkaasti ja rautaoksidipedin jatkuva käyttö on mahdollista, jos puhdistettavassa kaasussa on happea.<sup>17</sup>

Jätevedenpuhdistamoilla käytetään jäteveden käsittelyssä rautasulfaattia fosforin poistamiseen. Lietteeseen sitoutuva rauta ehkäisee myös rikkivedyn muodostumisen biokaasuun. Näin ollen rikkivedystä ei tyypillisesti aiheudu ongelmia jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä olevilla biokaasulaitoksilla.

## 10 Biokaasun käyttö

Biokaasua hyödynnetään usein energiantuotannossa sen sisältämän metaanin korkean energiasisällön vuoksi. Biokaasu on puhdas ja monikäyttöinen polttoaine, josta voidaan tuottaa esimerkiksi lämpöä, höyryä, sähköä tai liikennepolttoainetta.

### 10.1

#### Hyödyntämistavan valinta

Biokaasulaitosta suunniteltaessa arvioidaan tuotettavan biokaasun määrä ja paras käyttökohde. Hyödyntämistapa ei ole niinkään riippuvainen laitoksen koosta tai syötteistä vaan enemmänkin laitoksen sijainnista ja kannattavimmista hyödyntämistavoista paikallisesti. Kaikissa tapauksissa, kuten esimerkiksi kaatopaikoilla, biokaasua ei välttämättä voida hyödyntää muun muassa välimatkojen tai pienen energiantarpeen vuoksi. Hyödyntämismahdollisuudet tulisikin kartoittaa jo laitosta suunniteltaessa.

Ensisijainen määräävä tekijä on se, mihin energiaa voidaan laitoksen sijoituspaikalla ja sen läheisyydessä käyttää ja mikä on kannattavin hyödyntämismuoto. Käytännössä vaihtoehtoja ovat:

- Lämmöntuotanto
- Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP)
- Mekaaninen energia
- Liikennekäyttö

Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto on vakiintunut biokaasun hyödyntämistapa, koska monien laitosten yhteydessä on sähköä ja lämpöä tarvitsevia toimintoja. Sähkön hinta on ollut viime aikoina nousussa. Biokaasulla tuotetun sähkön syöttötariffi on järjestelmä, joka otetaan Suomessa käyttöön mahdollisesti vuonna 2010.<sup>18</sup> Tariffin tarkoituksena on edistää uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla tuotetun sähkön kilpailukykyä ja käyttöönottoa Suomessa lisäämällä ennakoitavuutta ja pienentämällä tuottajan riskiä. Toteutuessaan tariffi takaa sähkön tuottajalle hinnan, joka vähintään kattaa sähkön tuotantokustannukset biokaasulaitoksessa.

Pelkkä lämmöntuotanto edellyttää laitoksen yhteydessä olevan kohteen, joka tarvitsee runsaasti lämpöä ympäri vuoden. Biokaasulla tuotettua lämpöä käytetään lähes jokaisella laitoksella ensisijaisesti reaktorin lämmitykseen. Lisäksi reaktorin sekoitus kuluttaa osan tuotetusta sähköenergiasta. Laitoksen omaan käyttöön kuluu tyypillisesti noin 10 - 40 % tuotetusta biokaasusta.

Hyödyntämistavasta riippumatta laitoksen energiakäyttö on suunniteltava kokonaisuutena eikä pelkästään laite- tai osaprosessikohtaisesti. Konkreettisia keinoja laitoksen energiankäytön vähentämiseksi ovat esimerkiksi:

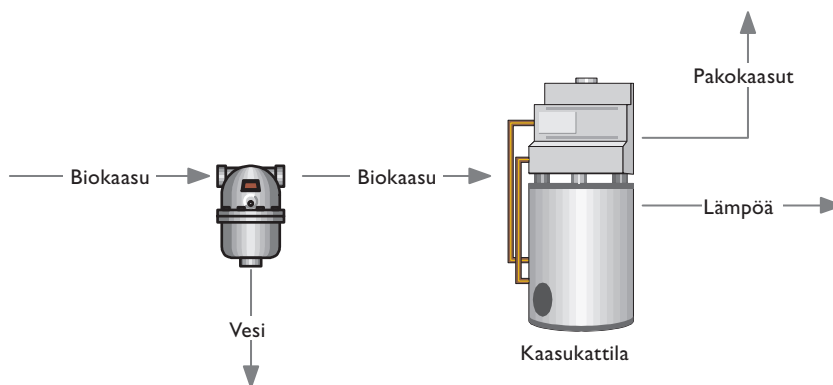
- Puhaltimien, pumppujen ja kuljettimien varustaminen säätökäytöillä
- Lämmönvaihtimien käyttö käsittelyjäännöksen lämmön hyödyntämiseksi
- Puhtaan veden käytön välttäminen sekoittamalla tarvittaessa eri syötelaatuja riittävän kosteuspitoisuuden saavuttamiseksi syöteseoksessa

#### 10.1.1

### Lämmityskäyttö

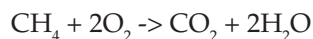
Biokaasua käytetään yleisesti lämmitykseen useilla laitoksilla. Biokaasun hyödyntämiskeinona se on investoinneiltaan pieni ja vain vähän valvontaa ja huoltoa tarvitseva ratkaisu. Erityisesti maatilalaitoksilla tuotetaan lämmintä vettä asuinrakennuksien ja eläinsuojien käyttöön.

Kaasu ohjataan vedenerotuksen jälkeen matalassa paineessa kaasupolttimelle, joka lämmittää vettä laitoksen kiertovesijärjestelmään. Kaasupolttimia on saatavilla laajasti kaikkiin kokoluokkiin. Lämmöntuotannon hyötysuhde voi olla jopa 95 %. Tämä tarkoittaa että biokaasun energiasisällöstä jää hyödyntämättä vain 5 %.



Kuva 16. Lämmöntuotanto biokaasusta.

Biokaasun palamisreaktio on hyvin samanlainen kuin maakaasun. Näiden kaasujen erona on käytännössä vain biokaasun korkeampi hiilidioksidipitoisuus ja matalampi energiasisältö. Jos biokaasu sisältää rikkivetyä, palamisessa muodostuu myös rikkidioksidia. Palava komponentti on molemmissa metaani, jonka syttyminen edellyttää vähintään 5 % mutta enintään 15 % metaanipitoisuutta ilmassa. Metaanin palamisreaktio koostuu sadoista eri reaktioista ja välivaiheista. Sen palaminen voidaan kuitenkin yksinkertaistaa reaktioon: <sup>19</sup>



#### 10.1.2

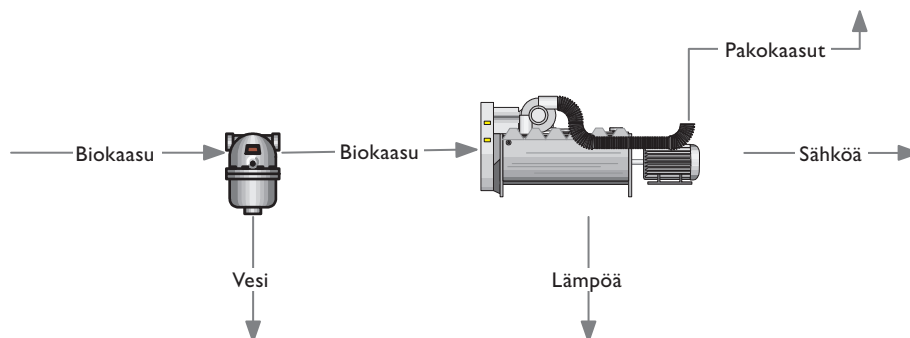
### Sähkön ja lämmön tuotanto (CHP)

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP, Combined Heat & Power) on yleisesti käytössä oleva hyödyntämiskeino suomalaisilla biokaasulaitoksilla. Biokaasu ohjataan vedenerotuksen jälkeen kaasumoottorille, joka pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Keskikokoisissa ja isoissa laitoksissa ovat yleistyneet suuret kaasumoottorit, mutta myös mikroturbiineja voidaan sijoittaa rinnakkain useampia, ja näin saavuttaa vastaava teho.

Mikroturbiinin investointi on hiukan moottoria suurempi, mutta sen käyttö- ja huoltokulut ovat vastaavasti moottoria pienemmät. Suhteellisen korkeiden kustannustensa vuoksi mikroturbiini ei sovellu pienimpiin laitoksiin. Toisaalta mikroturbiinilaitosta on helppo laajentaa lisäämällä mikroturbiiniyksiköitä. Sekä moottoreita että mikroturbiineja on käytössä suomalaisilla biokaasulaitoksilla. Tyypillisesti mikroturbiineja käytetään kaatopaikka-pumppaamoilla.

Normaalisti sähkön osalta hyötysuhde on sekä moottoreissa että mikroturbiinissa noin 25 - 40 %. Hyötysuhde paranee tyypillisesti moottorin koon kasvaessa. Mitoituksessa on huomioitava, että laitteita voidaan ajaa vain tietyllä tehoalueella, tyypillisesti noin 50 - 100 % teholla. Mikäli biokaasun hyödyntämislaitteisto on mitoitettu liian suureksi ja kaasua ei muodostu riittävästi, ei hyödyntämislaitteistoa voida ajaa lainkaan ja biokaasu joudutaan polttamaan muulla tavalla, esimerkiksi soihdussa.

Jäähdytysjärjestelmästä ja pakokaasuista voidaan ottaa talteen lämpöä. Lämmöstä voidaan teknisesti suhteellisen helposti saada talteen noin 35 % biokaasun sisältämästä energiasta. Lämmön hyötysuhdetta on teknisesti mahdollista nostaa jopa 60 prosenttiin biokaasun kokonaisenergiasisällöstä, mutta tämä nostaa etenkin pienillä laitoksilla investointeja lämmön talteenottolaitteistoihin yleensä niin paljon, ettei sitä ole kannattavaa toteuttaa. Suurimmilla laitoksilla päästään 70 - 90 % kokonaishyötysuhteeseen sähkön ja lämmön yhteistuotannossa.

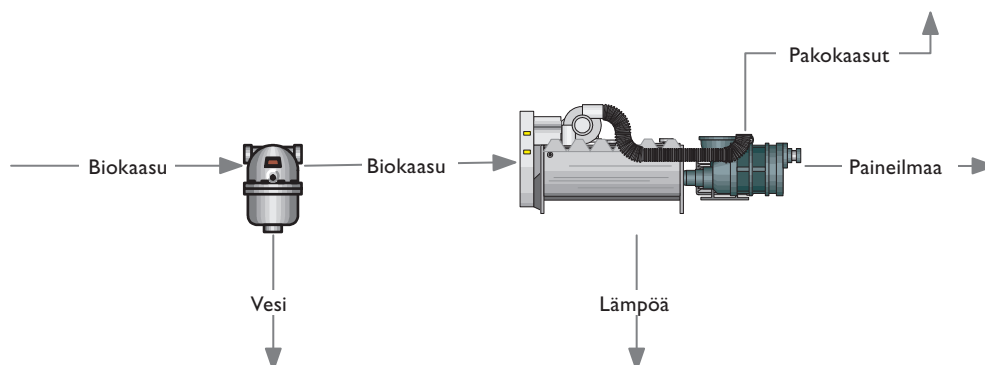


Kuva 17. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto biokaasusta.

### 10.1.3

## Mekaaninen energia

Biokaasulla tuotetaan mekaanista energiaa lähinnä jätevedenpuhdistamoilla, jotka tarvitsevat sitä esimerkiksi ilmastukseen jäteveden käsittelyprosessissa. Biokaasu ohjataan vedenerottimen jälkeen kaasumoottorille, kuten CHP-ratkaisussakin, mutta sähköä tuottavan generaattorin sijaan moottorin energia ohjataan jäteveden ilmastuskompressorille.



Kuva 18. Mekaanisen energian tuotanto ilmastuskompressorille.

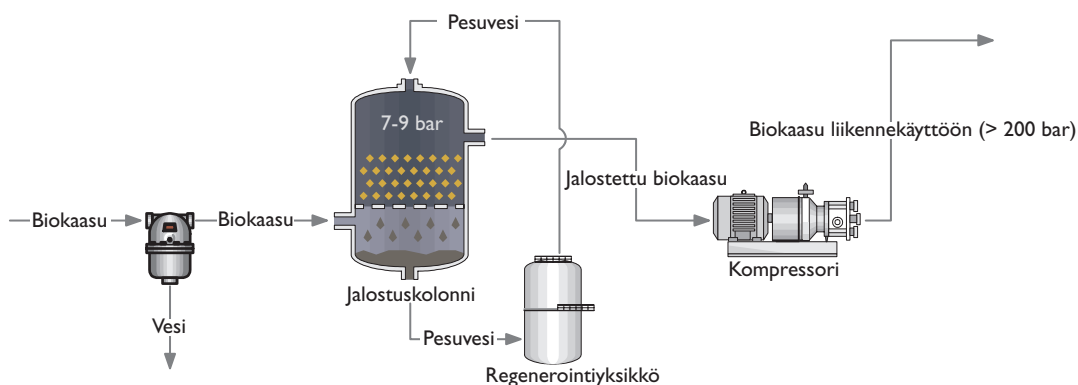


## Biokaasun jalostaminen liikennekäyttöön

Biokaasua voidaan jalostaa myös liikennekäyttöön soveltuvaksi. Tällöin siitä poistetaan hiilidioksidi sekä mahdolliset rikkiyhdisteet. Jäljelle jää lähes puhdas metaani ja tuote voidaan rinnastaa maakaasuun. Jalostettua biokaasua voidaan käyttää bi-fuel -autoissa, joissa on tankki bensiinille ja kaasulle tai mono-fuel -autoissa, joissa on tankki pelkästään kaasulle. Paineistettu metaani tankataan ajoneuvoon noin 200 bar paineeseen.

Biokaasun jalostamiseen on useita tekniikoita, joista vakiintunein on vesipesu. Tällöin biokaasu syötetään noin 7 - 9 bar paineessa vesikolonnein, jossa hiilidioksidi sitoutuu veteen. Vesi voidaan regeneroida erillisessä strippauskolonnissa ja käyttää uudestaan, tai se voidaan viemäroidä puhdistettavaksi. Veden asemasta voidaan myös käyttää erilaisia kemikaaliliuoksia, joiden teho on vettä parempi. Liuokset yleensä regeneroidaan käytön jälkeen.<sup>16</sup>

Vesipesun jälkeen kaasusta poistetaan kosteus, ja se paineistetaan kompressorin avulla varastointia varten. Paineistus voi olla hidas- tai nopeatoiminen ja jalostetun biokaasun varastointipaine on tyypillisesti 200 - 300 bar.



Kuva 19. Biokaasun jalostus liikennekäyttöön.

Jalostetulle biokaasulle ajoneuvokäytössä ei ole Suomessa annettu laatumäärittäyksiä. Seuraavassa taulukossa 15 on esitetty joidenkin maiden vähimmäisvaatimuksia liikennekäytössä käytettävälle metaanille.

Biokaasun jalostaminen liikennekäyttöön ei toistaiseksi ole yleistynyt Suomessa. Syynä on ensisijaisesti ajoneuvokannan puute. Tällä hetkellä markkinoilla on saatavissa lukuisia kaasujoneuvoja, mutta kaasun tankkausverkosto on vielä melko harva, jonka vuoksi ajoneuvokanta ei ole kasvanut nopeasti. Lisäksi useilla laitoksilla kaasun tuotanto on niin suuri, että jalostuslaitoksen hankkiminen ja liikennekäyttö ensisijaisena hyödyntämismuotona edellyttäisi suurta ajoneuvokantaa. Biokaasun jalostamista Suomessa rajoittavat lisäksi mm. biokaasulaitoksen kokonaisinvestointiin verrattuna suuret investoinnit sekä tuki-instrumenttien ja kokemusten puute.

Myös biokaasun jalostuslaitoksen käyttökustannukset ovat biokaasulaitokseen verrattuna melko suuria. Jalostuslaitoksen suhteelliset investointi- ja käyttökustannukset laskevat huomattavasti kokoluokan kasvaessa (> 200 m<sup>3</sup>/h).<sup>20</sup> Biokaasua jalostetaan liikennekäyttöön Suomessa vain yhdellä maatalolaitoksella, mutta useita suunnitelmia on ollut vireillä jo pitkään. Ruotsissa biokaasua jalostetaan liikennekäyttöön kymmenillä laitoksilla.

Taulukko 15. Joidenkin maiden vähimmäisvaatimuksia liikennekäytössä käytettävälle metaanille.<sup>21</sup>

Komponentti	Yksikkö	Ranska	Sveitsi	Ruotsi
Wobbe-indeksi (alempi)	MJ/Nm <sup>3</sup>			45,5
Wobbe-indeksi (ylempi)	MJ/Nm <sup>3</sup>			48,2
Energiapitoisuus (ylempi)	kWh/Nm <sup>3</sup>	10,7		
Vesi	mg/Nm <sup>3</sup>	< 100	< 5	< 32
Metaani	vol %		> 96	> 97
Hiilidioksidi	vol %			< 3
Happi	vol %	< 3,5	< 0.5	< 1
Hiilidioksidi, happi ja typpi yhteensä	vol %	< 3	< 3	< 3
Typpi	vol %			< 0,5
Rikki	mg/Nm <sup>3</sup>	< 7	< 5	< 23
Halogenoidut hiilivedyt	mg/Nm <sup>3</sup>	1	0	

## 10.2

**Biokaasun soihtupoltto**

Biokaasua poltetaan soihtupoltossa vararatkaisuna silloin, kun sen hyödyntäminen ei ole mahdollista. Mikäli esimerkiksi ensisijainen hyödyntämislaitteisto rikkoontuu tai on huollettavana eikä laitoksella ole riittävästi varastointikapasiteettia syntyvän biokaasun säilömiseksi, ylimääräinen biokaasu tyypillisesti poltetaan soihdussa. Soihtupoltolla biokaasun sisältämän metaanin kasvihuonekaasuvaikutusta pystytään vähentämään. Reaktorilaitoksilla ei yleensä käytetä soihtupolttoa pitkiä aikoja, koska siinä hukataan energiaa ja palamisolosuhteet vaihtelevat. Tästä saattaa aiheutua myös hajuyhdisteiden muodostumista.

Lähes jokaisella suomalaisella biokaasulaitoksella on soihtu vararatkaisuna. Pie-nimmillä maatilalaitoksilla (syötemäärä < 5 000 t/a) ei yleensä ole soihtua. Tämä johtuu lähinnä siitä, että soihdun hankinta nostaisi laitoksen kokonaisinvestointia merkittävästi. Vararatkaisuna voi olla myös esimerkiksi yksinkertainen lämpökattila.

## 11 Käsittelyjäännöksen jälkikäsittely ja hyödyntäminen

Käsittelyjäännöksen loppusijoituksen ja hyödyntämisen lainsäädäntöä ja ohjeistusta on tarkemmin käsitelty luvussa 3. Keskeisenä tekijänä ovat käytetyt syötteet, niiden laatu, tietyille syötteille määrätyt käsittelymenetelmät sekä tietyille syötteille asetetut käyttökohderajoitukset.

Useimmiten käsittelyjäännös pyritään käyttämään lannoitevalmisteena, jolloin sen sisältämät ravinteet saadaan hyötykäyttöön. Lannoitevalmisteita valmistavien laitosten tulee täyttää sivutuoteasetuksen mukaiset prosessivaatimukset, mikäli laitoksella käytetään eläinperäisiä syötteitä. Lisäksi lopputuotteen tulee olla lannoitevalmisteeksi soveltuvaa sekä hygieenisyydeltään että muilta ominaisuuksiltaan. Markkinolle saatettavilla lannoitevalmisteilla on oltava lain edellyttämä tyyppinimi. Käsittelyjäännöksille soveltuvia tyyppinimiä ovat mm. orgaanisista lannoitteista orgaaninen eläinperäinen lannoite ja teknisesti käsitelty lanta, sellaisenaan orgaaniseksi lannoitteeksi soveltuvana sivutuotteena rejektivesi, orgaanisina maanparannusaineina maanparannuskomposti, tuorekomposti, maanparannusmädäte ja kuivarae tai jauhe.

Seuraavassa kappaleessa, kuvassa 20, on esitetty tyypilliset käsittelyjäännöksen loppukäyttömahdollisuudet ja niiden esikäsittelyt. Tekniikan kehittymisen ja lainsäädännön muutosten myötä käsittelyjäännöksen käyttömahdollisuudet jatkossa todennäköisesti lisääntyvät.

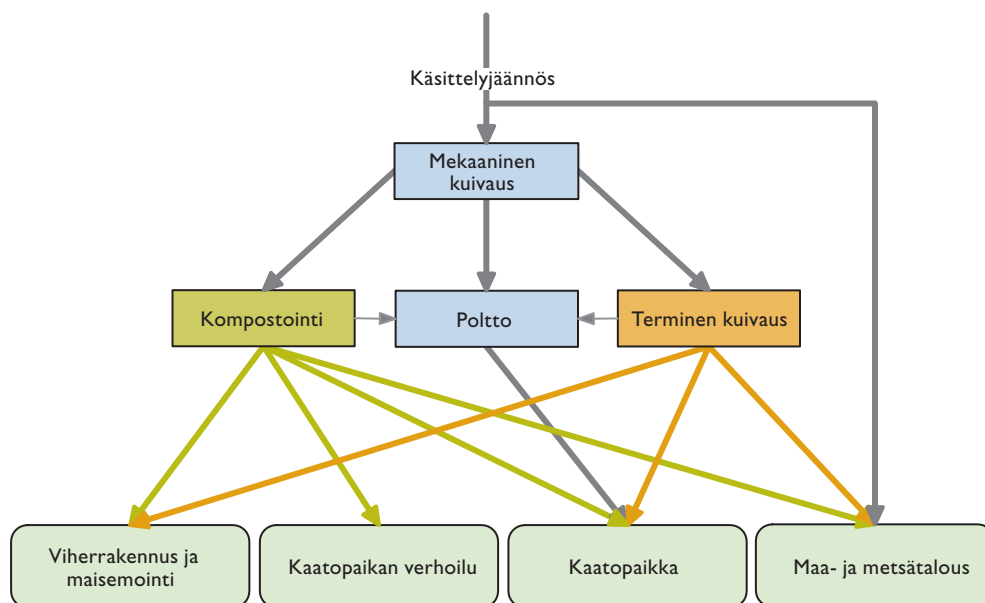
### 11.1

#### Loppusijoituskohteet

Tyypillisesti yhdyskuntalietteen jätevedenpuhdistamolla syntyvä käsittelyjäännös kuivataan mekaanisesti ja kompostoidaan tai vanhennetaan, jonka jälkeen se voidaan käyttää joko maataloudessa kompostina tai seostamisen jälkeen kasvualustana viherrakentamisessa. Terminen kuivaus, kemiallinen hydrolyysi, kalkkistabilointi sekä tapauskohtaisesti myös termofiilinen prosessi mahdollistavat biokaasulaitoksessa käsitellyn puhdistamolietteen maatalouskäytön. Lannasta biokaasulaitoksessa syntyvä käsittelyjäännös voidaan levittää pellolle sellaisenaan kuten käsittelemätön lietelantakin.

Yhteiskäsittelylaitosten käsittelyjäännös sisältää tyypillisesti lantaa, puhdistamolietettä sekä eläinperäisiä syötteitä. Lopputuote on usein tuotteistettu ja sille on olemassa tyyppinimi. Tyyppinimihyväksyntä mahdollistaa myös lopputuotteiden kaupallisen hyödyntämisen esimerkiksi lannoitevalmisteena. Ellei tuotteelle ole olemassa soveltuvaa tyyppinimeä, sitä on mahdollista hakea Eviralta.

Käsittelyjäännöstä tai siitä johdettuja jakeita voisi olla mahdollista käyttää myös uusissa kohteissa, kuten esimerkiksi biojalostamon raaka-aineena, savukaasunkäsittelyssä (erotettu tyyppi) sekä metsäteollisuuden biologisten jätevedenpuhdistamoiden ravinnelisinä.



Kuva 20. Käsittelyjäännöksen loppusijoituskohteet.

#### 11.1.1

### Lannoitevalmistekäyttö

Lannoitevalmistekäyttö sisältää viherrakentamiseen ja maisemointiin käytettävän materiaalin sekä maa- ja puutarhatalouden lannoittamiseen käytetyn materiaalin. Lannoitevalmisteiden on oltava tasalaatuisia, turvallisia ja käyttötarkoitukseensa sopivia ja niiden tulee täyttää sivutuoteasetuksessa, lannoitevalmistelaissa ja sen nojalla annetuissa säädöksissä asetetut vaatimukset. Lannoitevalmiste ei saa sisältää sellaisia määriä haitallisia aineita, tuotteita tai eliöitä, että sen käyttöohjeiden mukaisesta käytöstä voi aiheutua vaaraa ihmisten tai eläinten terveydelle tai turvallisuudelle, kasvien terveydelle taikka ympäristölle.<sup>22</sup>

#### 11.1.2

### Sijoitus kaatopaikalle

Käsittelyjäännöstä voidaan sijoittaa kaatopaikalle päivittäispeittomateriaaliksi sekä sulkemisen yhteydessä käyttää maakerrosten luomiseen ja pintakerroksen verhoiluun. Mikäli kaatopaikka otetaan sulkemisen jälkeen muuhun käyttöön, myös sulkemiseen käytettävän ylimmän maakerroksen on oltava lannoitevalmistelain mukaista materiaalia. Mikäli alueelle ei ole yleistä pääsyä, ei käsittelyjäännöksen tarvitse olla lannoitevalmistelain mukaista. Käsittelyjäännös voidaan myös polttaa tai sijoittaa kaatopaikalle, ellei muuta ole tehtävissä. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi biokaasuprosessin häiriön seurauksena tai kun käsittelyjäännös sisältää siinä määrin haitallisia aineita tai epäpuhtauksia, ettei sitä muuten voida hyödyntää.

#### 11.2

### Käsittelyjäännöksen jatkokäsittelytekniikat

Maatilakokoluokan laitosten käsittelyjäännös on sellaisenaan käytettävissä kasvien tuotantoon, mikäli raaka-aineina on käytetty vain tilalla syntyviä kasvi- ja eläinperäi-

siä jätejakeita. Riippuen raaka-aineista ja prosessista käsittelyjäännös voidaan sijoittaa ilman jatkokäsittelyä peltoon. Tämä on tyypillinen toimintatapa maatilalaitoksilla. Mikäli halutaan hyödyntää eri peltolohkoilla lannoitearvoltaan erilaisia jakeita tai saattaa käsittelyjäännöstä markkinoille, se voidaan myös fraktioida esimerkiksi erottamalla mekaanisesti nestefraktio kiintoaineksesta. Tällöin nestejake on typpi- ja kaliumpitoinen ja kiintoaineessa taas on runsaammin fosforia. Molemmat fraktiot soveltuvat tilalla sellaisenaan käytettäväksi peltoon, mutta kiintoainesfraktiota voi myös tuotteistaa edelleen kompostoimalla tai rakeistamalla. Maatilalaitoksella on oltava käytössään lietesäiliöt, joissa liete voidaan varastoida odottamaan levitysajankohtaa.

Jätevedenpuhdistamoilla ja yhteiskäsittelylaitoksilla käsittelyjäännös kuivataan tyypillisesti mekaanisesti, jonka jälkeen se voidaan esimerkiksi kompostoida tai kuivata termisesti. Termisesti kuivattu liete voidaan polttaa tai käyttää maanparannusaineena esimerkiksi rakeistettuna. Kuivauksesta syntyvät rejektivedet johdetaan yleensä puhdistamon yhteydessä jätevedenpuhdistusprosessin alkupäähän. Yhteiskäsittelylaitoksilla vaaditaan lähes poikkeuksetta rejektivesille erilliskäsittely. Rejektivesien käsittelyä on tarkemmin käsitelty luvussa 12.

#### 11.2.1

### Mekaaninen kuivaus

Markkinoilla on useita erilaisia lietteenkuivauslaitteistoja. Sopivan laitteen valintaan vaikuttavat kuivattavan lietteen kuiva-ainepitoisuus, käytettävissä oleva energia ja sen hinta, tilavaatimukset sekä kuivatun lietteen laatu ja laitteen kapasiteetti. Kuivauksen yhteydessä lietteisiin lisätään usein kuivausta edistäviä polymeerejä. Jotkut polymeereistä voivat vaikuttaa lietteen ravinteisiin niiden liukoisuutta vähentäen.

Markäprosessin käsittelyjäännöksen kuiva-ainepitoisuus on noin 3 - 15 %. Tällaisen lietteen kuivaukseen (veden erottamiseen) yleisesti käytössä olevia tekniikoita ovat linkokuivaus, suotonauhakuivaus ja ruuvipuristus sekä harvinaisempi kammiosuotopuristus.<sup>23</sup> Ne ovat yleisessä käytössä jätevedenpuhdistamoilla sekä yhteiskäsittelylaitoksilla, mutta yleistymässä myös maatilalaitoksilla.

#### Linkokuivaus

Lingot perustuvat keskipakovoimilla kiihdytettyyn laskeutumiseen. Kiintoaineet laskeutuvat pohjalle nesteen jäädessä yläpuolelle. Lingoissa on pyörivä toisesta päästä kartiollinen rumpu, jonka sisällä pyörii ruuvi. Lingossa pyörivä rumpu toimii laskeutusaltaana. Lingon toimintaan vaikuttavat monet muuttujat.

Linkouksessa käytetään polymeeriannostusta kiintoaineen erotuksen tehostamiseksi. Linkous on nykyisin yleinen kunnallisissa jätevedenpuhdistamoissa käytettävä vedenerotustekniikka. Yhdyskuntalietteissä lingoilla päästään noin 15 - 35 %:n kuiva-ainepitoisuuksiin. Energiantarve on 1 - 1,5 kWh / lietetonni. Kapasiteetiltaan lingot ovat tyypillisesti 10 - 50 m<sup>3</sup>/h. Myös pieniä (1 - 5 m<sup>3</sup>/h) linkoja on saatavilla.

#### Suotonauhakuivaus

Suotonauhapuristimessa suodatus aiheutuu painovoimasta ja puristustelojen aiheuttamista puristus- ja leikkausvoimista. Liete ohjataan polymeeriannostelun jälkeen hitaasti kulkevalle viiralle. Liete syötetään ylemmän viiran päälle, missä tapahtuu veden suotautumista painovoiman johdosta. Puristusvaihe tapahtuu lietteen joutuessa alemmalle viiralle ja viirojen väliin. Toimintaan vaikuttavat viiran nopeus, puristusvaiheessa viirojen väliin muodostuva paine ja lietteen syöttönopeus. Suuri viiran nopeus lisää kapasiteettia, mutta jättää loppusakeuden pienemmäksi. Suotonauhapuristimien lietteen käsittelykapasiteetti on tyypillisesti 3 - 20 m<sup>3</sup>/h.

Tyypillisesti suotonauhapuristimella päästään noin 15 - 25 %:n kuiva-ainepitoisuuksiin riippuen myös käytettävän polymeerin määrästä ja laadusta. Viiran jatku-

vatoiminen pesu on laitteen toiminnalle tärkeää. Suotonauhapuristimella on pieni tehon tarve, mutta sen käyttö vaatii lähes jatkuvaa valvontaa.

Suotonauhapuristimia on käytössä mm. pienillä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla. Suuren huoltotarpeen ja alhaisen saavutettavan kiintoainepitoisuuden vuoksi suotonauhapuristimet ovat jäämässä pois käytöstä, vaikka ne ovat investoinneiltaan ja energiankulutukseltaan esimerkiksi linkoja edullisempia.

### Ruuvipuristuskuivaus

Ruuvipuristimessa rei'itetyn sylinterin sisällä pyörivä ruuvi puristaa lietettä seinämiä ja päätylevyä vasten. Puristavan ruuvin aiheuttama paine saa veden suotautumaan reikälevyn läpi. Seinämien lietekerros toimii suodatinväliaineena. Tavallisesti ruuvipuristimessa tarvitaan myös polymeeria ja kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus on tavallisesti 15 - 35 %. Ruuvipuristimet soveltuvat parhaiten lietteille, joissa biolietteen osuus on alle 40 %.<sup>23</sup>

Taulukko 16. Mekaanisen kuivauksen teknisiä vaihtoehtoja.

	Edut	Haitat	Käyttö
Lingot	Helppohoitoinen	Korkea energiankulutus, suuri investointi, kuluvia osia	Isot ja keskisuuret jätevedenpuhdistamot
Suotonauhapuristimet	Runsas valikoima, pieni energiankulutus	Herkkä lietteen laadulle, vaatii joskus tukiainetta (esim. turve), viiranvaihto	Pienet jätevedenpuhdistamot
Ruuvipuristimet	Suljettu rakenne, voidaan tehostaa höyryllä	Kuluvia osia, saattaa vaatia tukiaineen bio- ja yhdyskuntalietteelle	Pienet ja teollisuuden jätevedenpuhdistamot
Kammiosuotopuristimet	Suljettu prosessi	Suuri investointi, suuri tilantarve, huollon tarve	Teollisuuden puhdistamot ja prosessit

#### 11.2.2

### Terminen kuivaus

Termisessä kuivauksessa haihdutetaan lämmön avulla vettä lietteestä. Kuivausta käytetään yleensä polttoa edeltävänä vaiheena tai pienentämään lietteen tilavuutta loppusijoitusta varten tai loppuhygienisointimenetelmänä. Termisellä kuivauksella päästään jopa 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Tyypillisesti termistä kuivausta edeltää mekaaninen kuivaus noin 30 % kuiva-ainepitoisuuteen.

Termisen kuivauksen etuja ovat saavutettava korkea kuiva-ainepitoisuus, lietteen hygienisoituminen ja kuljetuskustannusten väheneminen. Termisessä kuivauksessa kuivatun lietteen massa pienenee jopa noin viidesosaan, riippuen alkukuiva-ainepitoisuudesta. Haittoja ovat korkeat pääoma- ja käyttökustannukset ja ylläpitotarve. Kuten mekaanisessa kuivauksessa, myös termisessä kuivauksessa syntyy vaikeasti käsiteltäviä konsentroituneita rejektivesiä ja hajukaasuja.

Termistä kuivausta käytetään tyypillisesti biokaasulaitosten yhteydessä käsittelyjäännöksen käytettävyyden ja markkinoitavuuden parantamiseksi. Termisesti kuivatun liete täyttää myös hygienisointivaatimukset. Mikäli termistä kuivausta käytetään hygienisointitarkoituksessa, lämpötilan nosto pitää tapahtua nopeasti kuivauksen alussa (märkävaiheessa) mikrobien tuhoutumisen varmistamiseksi.

Sähköenergian kulutus termisessä kuivauksessa on noin 4 - 5 kWh/m<sup>3</sup> mekaanisesti esikuivattua lietettä. Lämpöenergiaa kuluu lämmön talteenoton tehokkuudesta

riippuen 500 - 3 500 kJ/haihdutettu kg H<sub>2</sub>O. Lämpö tuodaan kuivaukseen konvektiolla, johtamalla (lämpö johtuu väliseinän läpi) tai säteilemällä. Terminen kuivaus voidaan suunnitella siten, että kuivauksessa päästään noin 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin liete on stabiilia (biologinen aktiivisuus lakannut). Liette voidaan myös termisesti kuivata polttoa varten noin 40 - 60 %:n kuiva-ainepitoisuuteen.

Kuiva-ainepitoisuuden nosto lisää energiantarvetta. Esimerkiksi 5 %:n muutos kuiva-ainepitoisuudessa merkitsee 9 %:n muutosta energiankulutuksessa. Eräissä sovelluksissa liete kuivataan 50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja kompostoidaan sitten ilman seosaineita.<sup>23</sup>

### Kontaktikuivaus

Kontaktikuivauksessa lämpö siirtyy johtumalla kuumasta pinnasta lietteeseen. Kontaktikuivuria käytetään tyypillisesti, kun lopputuote on herkästi pölyävää ja halpaa höyryä on käytettävissä.

Liete voidaan levittää esimerkiksi ohueksi kerrokseksi kuumalle levypinnalle, josta se siirretään seuraavalle lautas-, hihna- tai ruuvikuivaimelle. Kontaktikuivurissa voi ongelmana olla lietteen korkea kuumentuminen ja toisaalta osittain puutteellinen kuumentuminen ja hygienisointi. Etuja ovat poistokaasujen pieni määrä ja hyvä energiankäytön hyötysuhde.

### Konvektiokuivaus

Konvektiokuivurissa kuuma ilmavirta johdetaan lietemassan läpi esimerkiksi rummussa tai kuivaushihnalla. Lietteessä oleva kosteus siirtyy kuumaan kaasuvirtaan ja liete kuivuu. Kuivaukseen voidaan käyttää kuumia palokaasuja tai lämmönvaihtimella kuumentettua ilmaa. Seos kulkee esimerkiksi rummun läpi, jolloin kuuma ilma (esim. 450 °C) kuivaa lietettä ja se tiivistyy rakeiksi. Rakeet irrotetaan höyryvirrasta syklonilla ja seulotaan. Haittana on kontaktikuivuria huonompi energiahyötysuhde, poistoilman suuri määrä, runsas pölyn muodostus ja pölyräjähdysriski.

### Rakeistus

Liete voidaan myös erikseen rakeistaa esimerkiksi lannoitevalmistekäyttöä varten, jolloin sen käsiteltävyys ja levitettävyyden paranee huomattavasti. Lietteen rakeistaminen voi tapahtua puristamalla kuivattu liete matriisin läpi, muodostamalla rae kuivatun ytimen ympärille pyörivässä rummussa tai lautasella, puristamalla liete suulakkeen läpi katkotuksi spagettimaiseksi nauhaksi tai puristamalla liete murenevaksi levyksi kahden telan välissä. Rakeistamisen yhteydessä lietteeseen lisätään yleensä rakeistamista tai rakeiden kestävyttä edistäviä aineita. Ne voivat vaikuttaa rakeessa olevien ravinteiden liukoisuuteen ja vähentää niiden käyttökelpoisuutta kasveille.

Taulukko 17. Kuivaustekniikoiden etuja ja haittoja.

	Edut	Haitat	Käyttö
Kontaktikuivaus	Hyvä energian hyötysuhde, poistokaasujen pieni määrä	Käsittelyjäännöksen epätasainen ja osittain puutteellinen kuumeneminen	Kun käsittelyjäännös on pölyävää, ja kun saatavilla on edullista höyryä
Konvektiokuivaus	Voidaan hyödyntää kuumia palokaasuja tai lämmönvaihtimia	Heikko energian hyötysuhde, poistoilman suuri määrä, runsas pölynmuodostus ja pölyräjähdysriski	Kun saatavilla on kuumia palokaasuja tai hukkaenergiaa



## Kompostointi

Kompostoinnissa pyritään nopeuttamaan luonnossa esiintyvää suhteellisen hidasta hajotustoimintaa sekä takaamalla mikrobeille riittävä hiilen, ravinteiden, veden ja hapen saanti. Kompostoinnissa tai vanhentamisessa annetaan käsittelyjäännöksen aerobisten eli happea vaativien mikrobien toimesta hajota edelleen ja humustua. Humustumisen seurauksena syntynyt lopputuote, komposti, ei enää sisällä kasvien kasvua estäviä yhdisteitä (fytotoksisia), on stabiilia eikä siinä ole taudinaiheuttajia eikä rikkakasvien siemeniä.

Käsittelyjäännöksen helposti hajoava orgaaninen aine on yleensä kuitenkin jo pitkälti kulunut biokaasuprosessissa. Tämän vuoksi saattaa olla tarpeellista lisätä kompostoinnin yhteydessä uutta seosainetta käsittelyjäännökseen. Seosaineen valinta on erittäin laitoskohtaista. Seosaineina voidaan käyttää kuivaa lehti- ja neulaskariketta, haketta tai kutterilastua sekä näiden seoksia. Turpeen haittapuolena on massan tiivistyminen ja etuna hyvä ammoniumtyypen sitomiskyky. Turve ei myöskään hajoa kompostoinnin aikana, eikä näin ollen edesauta lämmön nousussa. Lisäksi turve voi vaikeuttaa ilman kulkeutumista aumassa.

Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöstä kompostoitaessa on massaa syytä ilmastaa tai kääntää seosaineen lisäyksen lisäksi, jotta happea vaativa prosessi saadaan käynnistymään hapettomassa ja pelkistyneessä muodossa olevassa massassa. Kääntämisen tuloksena massa kuohkeutuu ja tuuletus parantuu, partikkelikoko pienenee, ja massa homogenisoituu. Komposti on ohittanut kuumen vaiheensa, kun sen lämpötila ei enää nouse kääntämisen jälkeen. Tämän jälkeen massan jälkikompostoituminen jatkuu ja alkaa varsinainen humustumisvaihe. Jäähdytynyt komposti soveltuu hyvin käytettäväksi kasvintuotantoon, etenkin vilja- ja energiakasveille ns. tuorekompostina. Kypsänä, maanparannuskompostina se soveltuu kaikille kasveille ja myös kasvualustan raaka-aineeksi. Käsittelyjäännöksen kompostointiin soveltuu hyvin esimerkiksi aumakompostointi, mutta kompostoinnin alkuvaiheiden nopeuttamiseksi kompostointi voidaan aloittaa myös ns. reaktorikompostoinnilla tunnelissa tai rummussa. Stabiilomattoman kompostin käyttäminen kasvualustana voi johtaa maan käyttökelpoisen tyyppien biologiseen sitoutumiseen ja kasvien tyyppien puutteeseen.

Kompostoinnin haittapuolia ovat tilantarve, ilmastusaineen tarve sekä haju- ja kasvihuonekaasupäästöt. Kompostointi on asutuskeskusten läheisyydessä usein tarpeen tehdä suljetuissa tiloissa (esim. tunnelikompostointi tai reaktorikompostointi), joka lisää investointikustannuksia.

Aumakompostointiajaksi suositellaan Etelä-Suomessa vähintään 20 - 25 päivää ja Pohjois-Suomessa 25 - 30 päivää. Tällöin saadaan 40 %:n vähenemä orgaanisessa kuiva-aineessa. Aumakompostoinnin tilantarve on 1 - 2 ha/10 000 m<sup>3</sup> kompostia/a.<sup>23</sup>

Reaktorikompostoinnissa viipymät ovat muutamia viikkoja, yleensä tarvitaan kuitenkin jälkikypsytyksen aumassa. Reaktorikompostoreissa saadaan 15 - 20 %:n vähenemä orgaanisessa kuiva-aineessa. Kompostoitua lietettä voidaan kuljettaa sellaisenaan kaatopaikalle tai käyttää lannoitevalmisteena tyyppinimen puitteissa.

Kompostointi vähentää entisestään käsittelyjäännöksen hajuhaittoja ja levitetävyyttä. Ilman kompostointia useista eri syötteistä koostuvaa käsittelyjäännöstä voidaan käyttää lähinnä kaatopaikan päivittäispeittoon. Läheskään aina biokaasulaitosten läheisyydessä ei ole soveltuvia kohteita tällaiseen käyttöön. Kompostiauma-alueen ja varastokenttien suoto- ja valumavedet on kerättävä hallitusti niiden laadun, käsittelytarpeen ja johtamisen määrittelemiseksi.



## 12 Vesien hallinta

Biokaasulaitoksella syntyy väkeviä rejektivesiä käsittelyjäännöksen kuivauksen yhteydessä. Mikäli jätevesiä ei pystytä hyödyntämään sellaisenaan, tulee kysymykseen niiden käsittely ja hallinta.

Maatilalaitoksen toiminnassa syntyvät rejektivedet kelpaavat yleensä lannoitevalmisteeiksi. Yhteiskäsittelylaitosten rejektivedet voivat soveltua sellaisenaan orgaaniseksi lannoitteeksi, mikäli ne sisältävät vain eläin- ja kasvipäristä materiaalia. Raakarejektistä voidaan myös tuottaa lisäkäsittelyillä muita (lannoite)tuotteita. Puhdistamolietettä käsittelevän laitoksen rejektivedet ovat poikkeuksetta käsiteltävää jätevettä.

Muiden laitoksella syntyvien jätevesien (saniteettitilat, pesuvedet, vedenerottimien kondenssivedet jne.) käsittelyä koskee ympäristönsuojelulainsäädäntö, esimerkiksi asetus haja-asutuksen jätevesistä (542/2003).

### 12.1

#### Rejektivesien määrä ja laatu

Yhteiskäsittelylaitosten ja jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitosten rejektivedet syntyvät samantyyppisistä käsittelyjäännöksen käsittelyprosesseista. Vahvoja rejektivesiä syntyy lähinnä lietteen esikäsittelyn ja käsittelyjäännöksen kuivauksen yhteydessä. Rejektin määrään vaikuttaa reaktorissa käytetty TS % ja haluttu kuivatun lietteen TS %. Mekaanisessa kuivauksessa syntyvän rejektiveden määrä on noin 75 - 90 % ja sitä seuraavassa termisessä kuivauksessa noin 70 % kussakin kuivausyksikössä kuivattavan lietteen määrästä.

Kuivauksessa syntyvä rejektivesi on käyttökokemusten mukaan konsentroitunutta ja erityisesti orgaanisen aineen ja typen pitoisuudet ovat suuria. Rejektiveden sisältö riippuu lähinnä biokaasuprosessin tehokkuudesta, syöteseoksen koostumuksesta ja

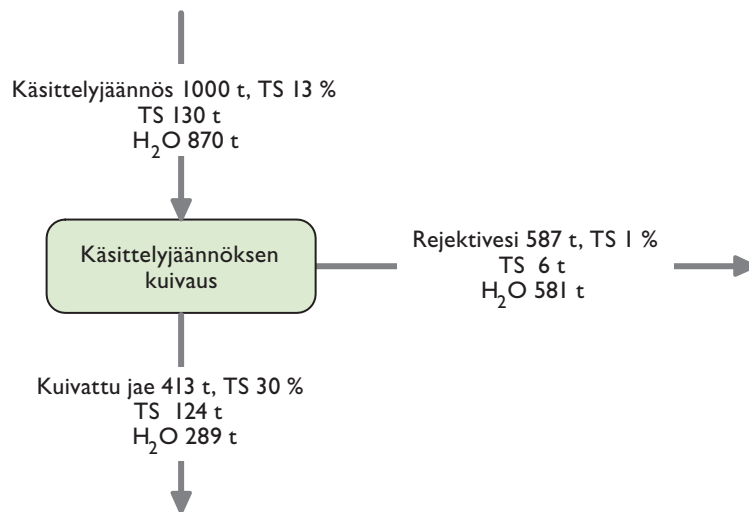
Taulukko 18. Yhteiskäsittelylaitoksen ja jätevedenpuhdistamon biokaasulaitoksen tyypillisiä käsittelemättömän rejektiveden ominaisuuksia (3 vuoden keskiarvo).

	Yhteiskäsittelylaitos (mg/l)		Jätevedenpuhdistamon biokaasulaitos (mg/l)	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
Kiintoaine	3 860	2 460	6 190	4 480
BOD <sub>7</sub>	1 790	890	1 120	750
COD (Cr)	6 550	2 970	142	105
kok-P	82	48	1,5	1,1
kok-N	1 003	381	993	171
NH <sub>4</sub> -N	642	282	734	105
Alkaliteetti	59	19	77	14

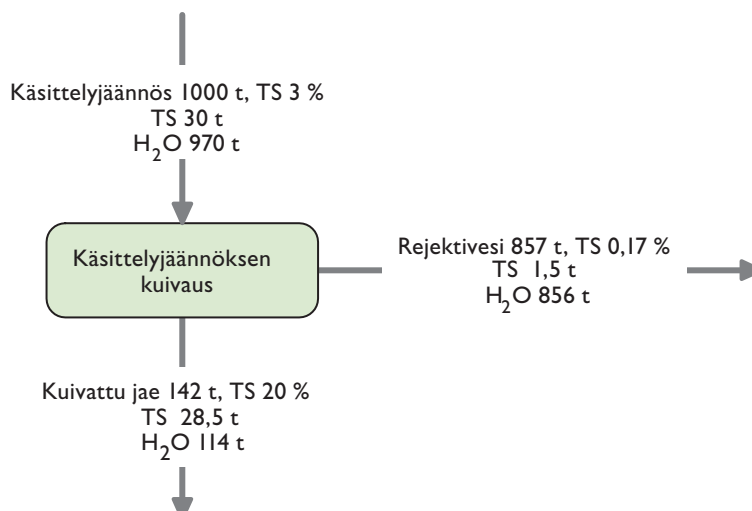
kuivausprosessista. Monipuolinen ja muuttuva syöteseos voivat aiheuttaa ongelmia ja vaihtelua rejektiveden laadussa ja puhdistamisessa. Yhteiskäsittelylaitoksessa käytettävät syötteet sisältävät tyypillisesti paljon orgaanista ainetta ja ravinteita.

Rejektiveden typpi- ja fosforipitoisuuden lisäksi myös kiintoaineen ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD, Chemical Oxygen Demand) poisto voi olla haastavaa.

Yhteiskäsittelylaitoksilla käsitellyn rejektiveden COD saattaa olla tasolla 10 000 mg/l, kokonaistyyppi tasolla 4 000 mg/l ja  $\text{NH}_4\text{-N}$  tasolla 3500 mg/l. Alkaliteetti mekaanisen ja termisen kuivauksen rejektivesissä voi olla 100 - 200 mg/l. Laitosta suunniteltaessa olisikin varauduttava vähintään esikäsittelmään rejektivedet laitoksen yhteydessä, jolloin veden orgaanisen aineen ja ravinteiden pitoisuutta vähennetään ennen sen johtamista viemäriverkkoon.



Kuva 21. Esimerkki käsittelyjäännöksen (TS 13 %) mekaanisessa kuivauksessa syntyvien rejektivesien määrästä ja laadusta tyypillisellä yhteiskäsittelylaitoksella.



Kuva 22. Esimerkki käsittelyjäännöksen (TS 3 %) mekaanisessa kuivauksessa syntyvien rejektivesien määrästä ja laadusta tyypillisellä jätevedenpuhdistamon biokaasulaitoksella.

## Rejektiveden käsittelymenetelmät

Jätevedenpuhdistamon yhteydessä puhdistamolietteitä käsittelevistä biokaasulaitoksista syntyvät rejektivedet käsitellään puhdistamon prosessissa. Tarvittava esikäsittely määräytyy syntyvän rejektiveden laadun ja määrän aiheuttavan kuormituksen perusteella. Puhdistamon mitoituksessa on yleensä huomioitu omien lietteiden käsittely, mutta vastaanotetut ulkopuoliset lietteet voivat nostaa rejektiveden kuormitusta niin, että erillinen esikäsittely tarvitaan.

Mikäli yhteiskäsittelylaitoksen rejektivesiä ei hyödynnetä, ne on käsiteltävä. Niiden johtaminen lähimmälle asumajätevedenpuhdistamolle on tyypillinen suunnitteluratkaisu, mutta rejektien aiheuttamaa kuormitusta ei yleensä ole otettu huomioon jätevedenpuhdistamon mitoituksessa. Biokaasulaitoksen rejektivedet ovat teollisuusjätevesiä, joita jätevedenpuhdistamon ei tarvitse edes toiminta-alueellaan ottaa vastaan. Jätevesien vastaanottamisesta tehdään teollisuusjätevesisopimus, jossa määrätään mahdollisesta esikäsittelystä. Rejektivesien johtaminen vesihuoltolaitoksen viemäriin on lisäksi ympäristöluvan varaista toimintaa, jolloin myös ympäristöluvassa määrätään mahdollisista esikäsittelytoimenpiteistä.

Vastaanottavan puhdistamon vastaanottokapasiteetti on tapauskohtaisesti selvitettävä. Tyypillisesti biokaasulaitokselta puhdistamolle johdettava vesi voi edustaa kuormitusasteesta ja kuormitusparametrin riippuen noin 5 - 30 % vastaanottavan puhdistamon kuormituksesta. Jos biokaasulaitoksen läheisyydessä ei ole jätevedenpuhdistamoa, jonne edes esikäsittelyn jälkeen rejektivesiä voisi johtaa tai puhdistamossa ei ole vastaanottokapasiteettia, ne on käsiteltävä itse siten, että ne voidaan purkaa vesistöön.

Tyypillisimmät yksikköprosessit rejektiveden käsittelyssä ovat kiintoaineen poisto selkeyttämällä, biologinen typen poisto ja fosforin kemiallinen rinnakkaissaostus. Myös fysikaalisia menetelmiä, kuten strippaus ja kalvotekniikat voidaan käyttää. Seuraavassa esitellään lyhyesti perinteiset jätevedenkäsittelyn menetelmät.

Rejektiveden orgaaninen aine ja fosfori ovat pääasiassa sitoutuneet rejektiveden kiintoaineeseen, joten hyvin toimiva kiintoaineen poisto on oleellisin käsittely rejektivedelle.

Liukoinen orgaaninen aine ja liukoinen typi poistetaan biologisessa aerobisessa jätevesiprosessissa, joista aktiivilieteprosessi on tavallisin. Aktiivilieteprosessissa jäteveden mikrobit hapettavat ammoniumtypen ensin nitriitiksi ja sitten nitraatiksi (nitrifikaatio). Muodostunut nitraatti pelkistetään kaasumaiseksi typeksi (denitrifikaatio). Orgaaninen aine hapettuu näiden prosessien yhteydessä.

Keskimääräisten puhdistamolietelaitosten ja yhteiskäsittelylaitosten rejektivesipitoisuuksien perusteella 20 000 t/a syötteitä käsittelevä biokaasulaitos tuottaa laskennallisesti rejektivesiä, jotka vastaavat orgaanisen aineen kuormaltaan noin 1 000 henkilön asumajätevesiä ja typpikuormaltaan noin 3 500 henkilön asumajätevesiä.

### 12.2.1

#### Prosessivaihtoehdot typenpoistolle

Nitrifikaatio-denitrifikaatio-prosessista käytetään myös nimitystä jälkidenitrifikaatio tai lyhennettä ND-prosessi. Jätevesi virtaa ensin ilmastetun osion läpi ja vasta sen jälkeen olosuhteet muuttuvat anoksisiksi, joten nitrifikaatio tapahtuu ennen denitrifikaatiota. Tällöin orgaanista hiiltä ei ole jätevedessä enää tarpeeksi denitrifikaatiobakteerien substraatiksi, joten prosessiin on lisättävä hiilenlähteeksi esimerkiksi metanolia. Menetelmällä voidaan saavuttaa jälkidenitrifikaation tehoksi 50 - 70 %.

Esidenitrifikaatio- eli DN-prosessissa biologinen käsittely alkaa ilmastamattomasta, anoksisesta osiosta (altaasta), jonka jälkeen seuraa ilmastettu nitrifikaatioallas.

Koska toimitaan päinvastaisessa järjestyksessä kuin luonnossa, on nitrifikaatioalasta kierrätettävä nitraattipitoista ( $\text{NO}_3^-$ ) vettä denitrifikaatiobakteerien käyttöön. Teoriassa 50 % typenpoistotehoon vaaditaan 100 %:n kierrätys ja 70 % reduktioon 300 %:n kierrätys.

Käytännössä tarve on vielä suurempi, ja tyypillisesti näissä prosesseissa käytetään 400 - 600 %:n kierrätystä. DN-prosessissa bakteerit kykenevät hyödyntämään ravinteissaan väkevämmän jäteveden orgaanista hiiltä, joten ulkopuolista hiilenlähdettä ei välttämättä tarvita.

Molemmissa prosesseissa nitrifikaatio kuluttaa veden alkaliteettia, mitä on kompensoitava kemikaalisuolalla aktiivilietteen pH:n alenemisen estämiseksi. Esidenitrifikaatiossa alkalointikemikaalia vaaditaan vähemmän, koska ensin tapahtuvassa denitrifikaatiossa vapautuva alkaliteetti saadaan hyödynnettyä.

Kokemusten mukaan esikäsittelylaitoksessa tarvitaan alkuun ilmastettu osa ennen typenpoiston anoksista osaa, koska anaerobisesta hajoamisesta syntyvät yhdisteet voivat inhiboida bioprosessia, jollei niitä ilmasteta ensin.

#### 12.2.2

### Fosforin poisto

Koska suurin osa fosforista on rejektivesien kiintoaineessa, tapahtuu fosforin poisto rejektivesistä ensisijaisesti poistamalla kiintoaine. Kiintoaineen poisto voidaan tehdä selkeyttämällä tai flotaatiolla, joita voidaan tehostaa kemiallisesti saostamalla. Kemiallinen saostus poistaa myös liukoista fosforia.

Liukaisen fosforin kemiallinen saostus voidaan tehdä rinnakkaissaostuksena, joka tapahtuu aktiivilieteprosessissa typen poiston ja orgaanisen aineksen poiston rinnalla. Fosforinpoistokemikaalina voidaan käyttää rauta- tai alumiinisuoloja. Saostunut fosfori sitoutuu aktiivilietteeseen ja poistetaan sen mukana rejektivedestä.

#### 12.3

### Saavutettavat puhdistustasot

Yhteiskäsittelylaitoksen rejektivesien erilliskäsittelyssä voidaan päästä seuraaviin tuloksiin. Vaihtelu on vuoden mittausjaksolta. Puhdistustavoite on asetettu sen mukaan, mitä ympäristölupa ja esikäsittelyt rejektivedet vastaanottava asumajätevedenpuhdistamo edellyttävät.

Taulukko 19. Rejektiveden saavutettavissa olevia puhdistustasoja yhteiskäsittelylaitoksella.<sup>24, 25</sup>

	Määrä (mg/l)
Kuiva-aine	300 - 1400
BOD <sub>7</sub>	160 - 620
Fosfori	5 - 15
Ammoniumtyppi	20 - 150

## 13 Päästöt ilmaan

Biokaasulaitoksessa käsitelty liete on poikkeuksetta huomattavasti hajuttomampaa kuin käsittelemätön liete. Biokaasulaitoksella voi kuitenkin häiriötilanteessa syntyä hajukaasupäästöjä, kasvihuonekaasupäästöjä sekä terveydelle haitallisia päästöjä. Taulukossa 20 on esitetty yleisimmät päästökomponentit ilmaan ja niitä aiheuttavat tekijät biokaasulaitoksilla.

Taulukko 20. Biokaasuntuotannon tyypilliset päästöt ilmaan ja niiden lähteet.

Havaittu päästö	Päästölähde	Huomiot
Hajuhaitat yleisesti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kuljetus</li> <li>- Varastointi</li> <li>- Syöttö prosessiin</li> <li>- Mekaaninen kuivaus</li> <li>- Terminen kuivaus</li> <li>- Kattamaton loppuvarasto</li> <li>- Levitys pelloille</li> <li>- Vuoto</li> </ul>	Hajuhaitoilla on taipumus pienentyä lietteen hajo- tessa. Yksittäistapauksissa haju-intensiteetin kasvu on kuitenkin mahdollista syötteen lisäyksen, puute- teellisen laitostekniikan tai prosessihäiriön vuoksi.
Ammoniakki (NH <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Loppuvarastointi</li> <li>- Levitys pelloille</li> </ul>	Ammoniakkia syntyy loppuvarastoinnin yhteydessä, kun liukoiset ammoniumionit muuttuvat ammo- niakkikaasuksi. Tätä edistää pH:n ja lämpötilan nousu. Sama tapahtuu yleensä levitysvaiheessa.
Metaani (CH <sub>4</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vuoto</li> <li>- Loppuvarastointi</li> <li>- Levitys pelloille</li> </ul>	Metaani on kasvihuonekaasu jonka vaikutus on 21 –kertainen hiilidioksidiin verrattuna. Riittävä viipymäaika prosessissa johtaa metaanipäästöjen alenemiseen.
Mikrobi-itiöt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Syöttö prosessiin</li> <li>- Biojätelajitteluastiat</li> <li>- Loppuvarasto</li> <li>- Levitys pelloille</li> </ul>	Itiöiden määrä vähenee käsittelyn aikana. Periaat- teessa määrä voi lisääntyä, jos prosessiin syötetään puutteellisesti esikäsiteltyjä syötteitä.
Typpioksiduuli (N <sub>2</sub> O)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Loppuvarastointi</li> <li>- Levitys pelloille</li> </ul>	Typpioksiduuli on kasvihuonekaasu jonka ilmasto- vaikutus on 310-kertainen hiilidioksidiin verrattuna. Vähenee prosessin aikana. Esiintyy jos käsittelyjään- nöksen loppuvarastoa ei ole peitetty.

### 13.1

### Kasvihuonekaasut

Biokaasulaitos itsessään on käsittelymuotona kaasumaisia ympäristöpäästöjä pienentävä. Tämä johtuu siitä, että käsittelemättömän orgaanisen aineen hallitsemattomassa hajoamisessa muodostuvat kasvihuonekaasut johtuvat suoraan ilmaan, mutta biokaasulaitoksella kaasut otetaan talteen. Metaani on kasvihuonekaasu, jonka vaikutus on noin 21 kertaa hiilidioksidin ilmastovaikutusta suurempi.

Biokaasulaitosten syötteenä käytettävien orgaanisten aineiden hallitsemattomassa hajoamisessa syntyy myös typpioksiduulia, jonka vaikutus on noin 310 kertaa

hiilidioksidin ilmastovaikutusta suurempi. Biokaasulaitoskäsittely vähentää myös muodostuvan typpioksiduulin määrää.

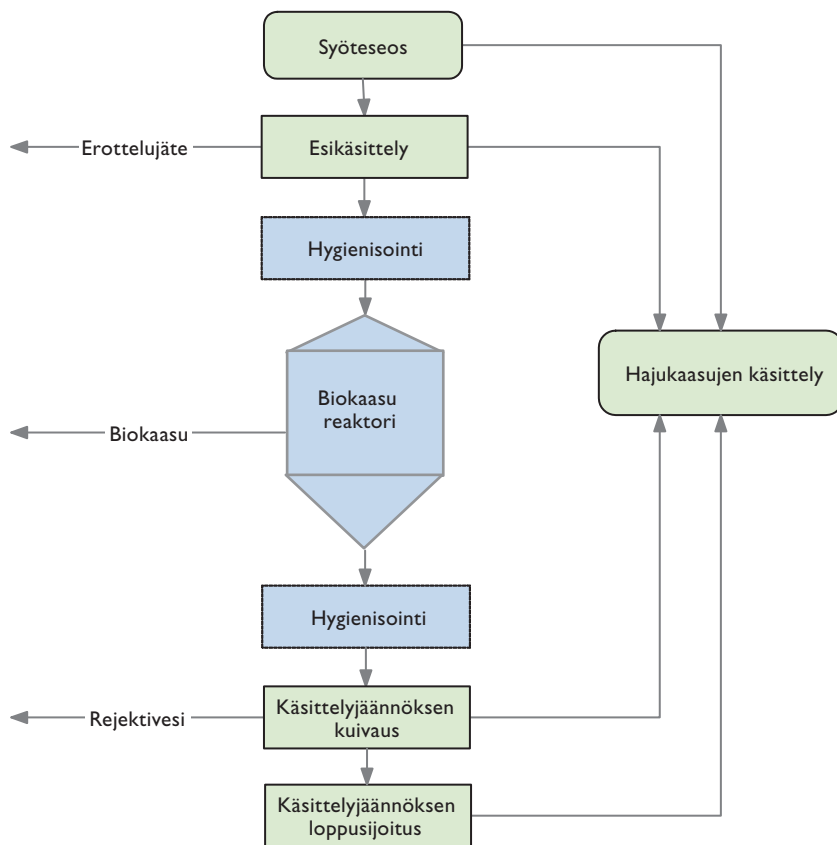
Mikäli biokaasusta tuotetaan energiaa, korvataan sillä usein fossiilisia polttoaineita (maakaasu, öljy). Tällöin toiminnan vaikutus päästöihin on kaksitahoinen; kasvi-huonekaasua tuhoava ja fossiilisia polttoaineita korvaava. Mikäli biokaasulaitoksen käsittelyjäännös hyödynnetään lannoitevalmisteena, se myös vähentää teollisesti valmistettujen lannoitteiden käyttöä ja vähentää näin niiden valmistuksesta aiheutuvaa ympäristökuormitusta.

## 13.2

### Hajupäästöt

Erityisesti käsittelyjäännöksen mekaaninen ja terminen kuivaus vapauttavat hajukaasuja ja käsittelytilat ovat tästä syystä suljettuja. Käsittelytiloista kerättävät hajukaasut on tarvittaessa johdettava hajukaasunkäsittelyyn. Ympäristöä häiritseviä hajuhaittoja voi syntyä lisäksi syötteen kuljetuksessa laitokselle, sen siirtämisessä prosessiin sekä lopputuotteen varastoinnin ja sijoittamisen yhteydessä. Myös käytetyn syötteen laadulla on merkitystä hajuhaittojen syntymisessä: ongelmia syntyy eniten biojätteestä ja teollisuuden sivuvirroista. Myös sianlanta sisältää haisevia rikkiyhdisteitä.

Tavalla, jolla syöte johdetaan biokaasureaktoriin, on myös merkitystä. Tekniikat, jotka aiheuttavat voimakasta turbulenssia syöteseoksessa, johtavat todennäköisemmin hajua aiheuttavien yhdisteiden haihtumiseen. Lisäksi kattamattomat syöttöjärjestelmät ovat riskialttiita. Niitä tulisi välttää erityisesti paljon hajuhaittoja aiheuttavia syötteitä käsiteltäessä. Laitoksilla, joilla käsitellään hajua aiheuttavia syötteitä, hajulähteet on suljettava ulkoilmasta, kerättävä hajukaasut yhteen ja käsiteltävä ne kootusti.



Kuva 23. Biokaasulaitoksen hajupäästöjen syntyminen.

### Hajupäästöjen määrittäminen

Hajuja voidaan määrittää ainemittauksilla, olfaktometrisesti, hajukartoituksella, tai hajupaneeleilla. Ainemittaukset perustuvat siihen, että tiedetään, mistä haisevasta aineesta tai yhdisteestä on kyse ja sitä mitataan spesifisesti. Tulokset saadaan aineen tai yhdisteen pitoisuutena ilmassa.

Olfaktometrisellä hajupitoisuuden määrittämismenetelmällä<sup>26</sup> tarkoitetaan hajupitoisuuden määrittämistä siten, että hajukaasunäytettä laimennetaan puhtaalla ilmalla asteittain. Neljä hajuaistiltaan testattua panelistia haistelee laimennokset lähtien laimeammasta väkevämpään. Panelistien havainnot rekisteröidään ja näytteelle lasketaan hajupitoisuus.

Hajuyksikkö (HY/ $\text{m}^3$ , OU/ $\text{m}^3$ ) tarkoittaa laimennuskertojen määrää näytteen hajukynnykseen saakka eli sitä, kuinka monta kertaa kyseinen hajukaasu on laimennettava, jotta vain puolet hajupaneelin jäsenistä haistaa sen. Hajukartoitus ja hajupaneeli perustuvat subjektiivisiin hajuaistimuksiin. Kartoituksessa käytetään asiantuntijaryhmää ja paneeli perustuu laitoksen ympäristön asukkaiden havaintoihin.

Ilmassa vallitseva hajutaso on kaikkien (mm. liikenne, maatalous, luonnon hajut metsistä ja nurmilta, teollisuus) hajupäästölähteiden summa. Yleisesti ilman hajupitoisuus vaihtelee välillä 10 - 100 OU/ $\text{m}^3$  riippuen hajupäästölähteistä alueella. Tietystä hajupäästölähteestä mitattavan hajun aistittavana raja-arvona voidaan pitää arvoa 1 OU/ $\text{m}^3$  ja häiritsevän hajupitoisuuden raja-arvona 5 OU/ $\text{m}^3$ .<sup>27</sup> Anaerobisesti käsitellyn jätevedenpuhdistamolietteen välittömäksi hajupitoisuudeksi on mitattu 1 100 - 1 550 OU/ $\text{m}^3$ .<sup>28</sup>

Hajukaasujen käsittelytarpeen selvittäminen laitosta suunniteltaessa on haasteellista johtuen laitospaikoista eroista, syötesekoksen vaihteluista sekä kokemusten puutteesta. Olemassa olevien laitosten hajupäästöjä ja hajujen leviämistä voidaan arvioida hajupaneelin avulla. Tällainen selvitys on toteutettu esimerkiksi Biovakka Oy:n Vehmaan laitoksella.<sup>29</sup>

### Yhteiskäsittely- ja jätevedenpuhdistamoiden laitokset

Hajukaasut poistetaan kohdeilmanpoistolla paikoista, joissa ne syntyvät. Myös tuuletettavien tilojen koolla on mahdollista vaikuttaa ilmavirtojen määrään. Tyypillisiä hajulähteitä yhteiskäsittelylaitoksilla ja jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla ovat lietteen esikäsittely ja sekoitus, lietteen mekaaninen ja terminen kuivaus sekä laitospoistointi.

Hajukaasujen lisäksi käsittelyjäännöksen mekaanisessa ja termisessä kuivauksessa syntyy muita kaasuja ja pölyä. Termisessä kuivauksessa höyrystyy myös orgaanisia aineita, joista monet jo pieninä pitoisuuksina aiheuttavat hajua. Termisessä kuivauksessa syntynyt höyry voidaan myös lauhduttaa tai johtaa lauhtumattomat kaasut polttoon. Mekaanisen kuivauksen poistoilmaa ei yleensä käsitellä, kun taas termisen kuivauksen poistoilma pääsääntöisesti käsitellään.

Jätevedenpuhdistamoilla biokaasulaitoksen hajukaasut johdetaan muun jätevedenkäsittelyjärjestelmän tuottamien hajujen kanssa yhteiseen käsittelyyn, minkä vuoksi eri hajulähteiden osuuksia ei voida luotettavasti mitata. Yhteiskäsittelykonsepti taas on niin uusi, että vakiintunutta mittaustietoa ei ole toistaiseksi paljoakaan saatavilla. Yhteiskäsittelylaitoksilla hajukaasujen pitoisuudet ennen hajunkäsittelyä voivat kuitenkin olla jopa satoja tuhansia hajuyksikköä/ $\text{m}^3$ . Pelkistyneiden rikkiyhdisteiden määrä hajukaasuissa voi olla 200 - 500 ppm.

Suomen ympäristölainsäädännössä ei ole normeja hajuille. Laitoksen ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä ja ympäristölupaa myönnettäessä on kuitenkin huomioitava biokaasulaitoksen lähistöllä oleva asutus ja asutukselle mahdollisesti aiheutuva hajuhaitta. Hajuhaittaa voidaan arvioida esimerkiksi leviämismalleilla, jolloin arvioidaan muodostuvia hajupäästöjä sekä normaalitoiminnan että häiriötilanteiden aikana.

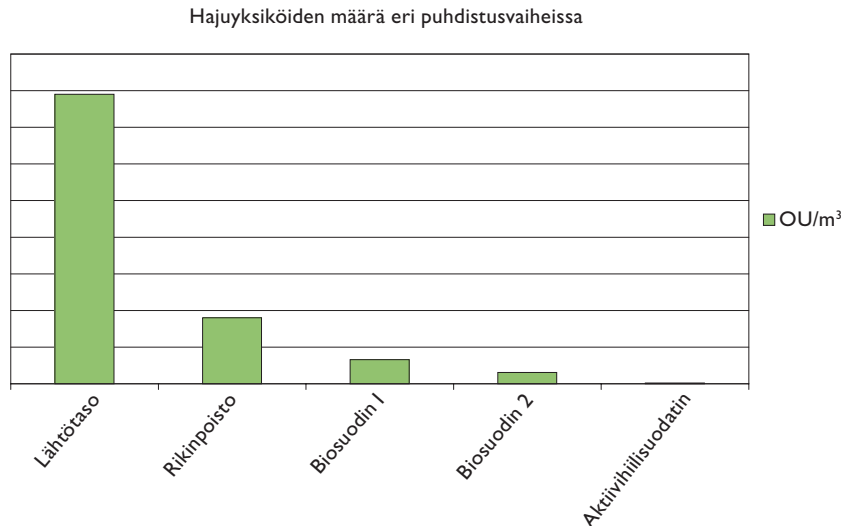
Biokaasulaitosten ympäristöluvuissa on voitu naapuruussuhdelain perusteella antaa määräyksiä hajujen selvittämisestä ja/tai käsittelystä. Biokaasulaitosten ympäristölupapäätöksissä on voitu edellyttää esimerkiksi enintään 1 500 - 4 000 OU/m<sup>3</sup> hajukaasupitoisuuksia. Alimpien raja-arvojen saavuttamisessa on havaittu teknisiä ongelmia. Ympäristöluvassa hajulle annettavien raja-arvojen määrittäminen on vaikeaa, koska biokaasulaitosten hajupäästöistä ja puhdistusjärjestelmien tehokkuuksista on vain vähän tietoja. Puhdistusjärjestelmien lisäksi hajujen vaikutusta on myös mahdollista lieventää johtamalla ne korkeaan poistoilmapiippuun.

### 13.3.1

#### Hajupäästöjen käsittelytavat

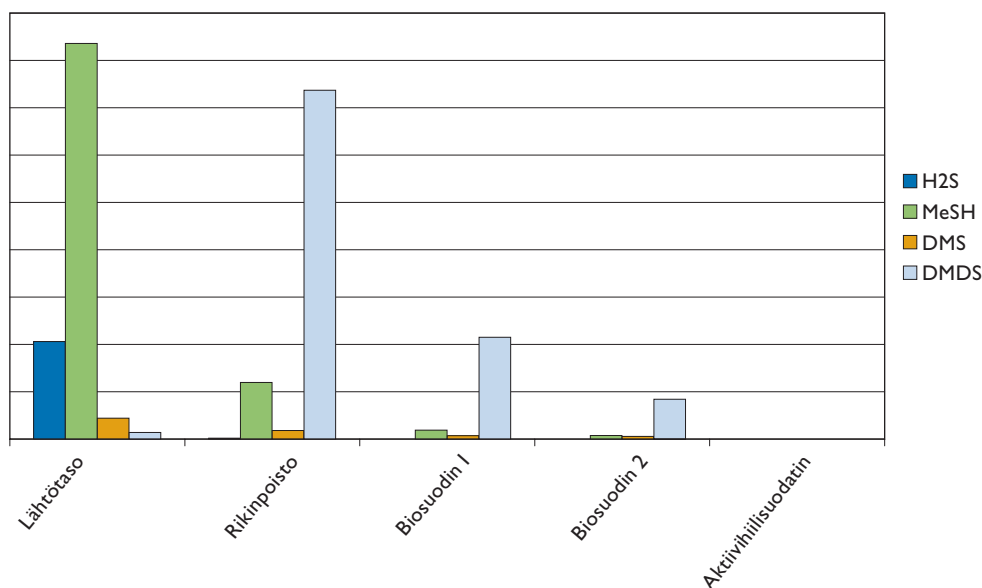
Talteen otetut hajukaasut voidaan käsitellä esimerkiksi biosuodattimella, aktiivihiilisuodattimella, vesipesulla, otsonointijärjestelmällä tai näiden yhdistelmällä tai johtamalla ne imuilmaksi biokaasun hyödyntämislaitteistoon (esim. CHP-laitos).

Tyypillisin ratkaisu on biosuodatin. Saatavilla on myös ns. ilmapesureita, joissa hajukaasut pestään vesisumun ja rikkihapon avulla.<sup>30</sup> Kuviissa 24 ja 25 on esitetty erään yhteiskäsittelylaitoksen hajunpoistojärjestelmän toimivuutta puhdistusjärjestelmän eri vaiheissa.<sup>31</sup>



Kuva 24. Hajuyksiköiden vähentyminen eri puhdistusvaiheissa.





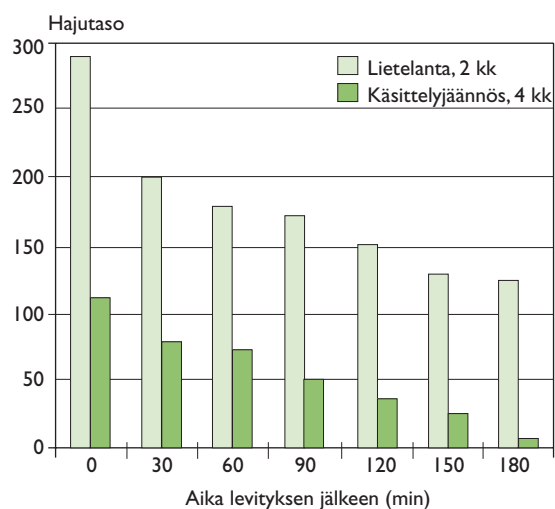
Kuva. 25. Rikkiyhdisteet eri puhdistusvaiheissa.

#### 13.4

### Maatilalaitokset

Maatilojen yhteydessä toimivat laitokset ovat usein rakenteeltaan ja automaatiikaltaan hyvin yksinkertaisia, eikä hajukaasujen mittaustuloksia ole saatavilla. Yleensä käsiteltävien syötteiden määrät ovat myös verraten pieniä (< 5 000 t/a), joten hajukaasujen määrätkin ovat pieniä. Pelkkää karjanlantaa käsiteltäessä ovat biokaasulaitoksen hajuhaitat yleensä huomattavasti pienempiä kuin tilan normaalista toiminnasta johtuvat hajuhaitat. Laitoksen avulla pystytään vähentämään lietelannan levityksestä aiheutuvia hajuhaittoja.

Kuvassa 26 on esitetty hajuhaittojen pienentyminen lietteen levityksen jälkeen saksalaisessa tutkimuksessa. Vertailukohteina ovat normaali lietelanta ja biokaasulaitoksessa käsitelty lietelanta. Y-akselilla esitetään hajun intensiteetti ja X-akselilla aika minuuteissa. Vaaleat pylväät kuvaavat 2 kuukautta vanhaa käsittelemätöntä sian lietelantaa ja tummat pylväät 4 kk vanhaa, biokaasulaitoksessa käsiteltyä lietelantaa.



Kuva 26. Hajuhaittojen pienentyminen lannoitteen levittämisen jälkeen.<sup>32</sup>

## 14 Biokaasulaitoksen toiminnan tarkkailu ja poikkeustilanteet

Biokaasulaitoksen toiminnan huolellisesti toteutetulla käyttö- ja päästötarkkailulla voidaan merkittävästi ehkäistä biokaasuprosessin häiriöitä ja vähentää toiminnan ympäristöhaittoja. Laitoksen tuottamia päästöjä ja ympäristövaikutuksia seurataan toiminnanharjoittajan laatiman tarkkailusuunnitelman mukaisesti ja tulokset raportoidaan ympäristöviranomaiselle säännöllisesti. Vaikutustarkkailun avulla seurataan toimintojen ja päästöjen aiheuttamia muutoksia ympäristössä. Maatilalaitoksilta ei tyypillisesti edellytetä tarkkailusuunnitelmaa, vaan lähinnä normaalissa viljelysuunnittelussa edellytettävää kirjanpitoa käsittelyjäännöksen ravinnepitoisuuksista ja levitysalueista.

Mahdollisista häiriötilanteista sekä niiden mahdollisesti aiheuttamista terveys- ja ympäristöhaitoista on kaikkien laitosten ilmoitettava valvontaviranomaisille viipymättä.

### 14.1

#### Tarkkailusuunnitelma ja omavalvonta

Mikäli biokaasulaitos edellyttää ympäristölupaa, laitoksen käyttö-, päästö- ja vaikutustarkkailusta on laadittava tarkkailusuunnitelma, joka on esitettävä biokaasulaitoksen ympäristölupahakemuksessa. Lisäksi tarkkailusuunnitelma on muutettava tarvittaessa lupamääräysten mukaiseksi ja toimitettava luvan määräämille tahoille. Tarkkailua voidaan tarkistaa ympäristöluvan valvontaviranomaisen hyväksymällä tavalla. Lannoitevalmistelain mukaista laitoshyväksyntää vaativien laitosten on lisäksi laadittava omavalvontasuunnitelma. Nämä suunnitelmat on mahdollista ja järkevää yhdistää yhdeksi yhteissuunnitelmaksi.

Tarkkailusuunnitelmassa on tyypillisesti esitetty:<sup>33</sup>

- vastaanotettavien jätteiden määrän ja laadun seuranta
- biokaasun laadun ja määrän seuranta
- biokaasun käytön seuranta
- viemäriin johdettavien jätevesien laadun ja määrän tarkkailu
- hajunpoistolaitteiston tehokkuuden ja poistoilman hajupitoisuuden seuranta
- käsittelyjäännöksen laadunvalvontasuunnitelma

Jos biokaasulaitoksen toiminnassa muodostuneita jätevesiä johdetaan vesihuoltolaitokseen viemäriin, jäteveden veden laatua ja määrää on tarkkailtava säännöllisesti vesihuoltolaitoksen kanssa solmitun teollisuusjätevesisopimuksen mukaisesti ja tarkkailu on liitettävä osaksi tarkkailusuunnitelmaa.

Viemäriin johdettavan veden laatu on selvitettävä normaalitarkkailun lisäksi tilanteissa, joissa viemäriin epäillään joutuneen häiriö- tai vahinkotilanteissa puhdistuslaitoksen toiminnan kannalta haitallisia aineita.

Laitoksen hajukaasujen käsittelylaitteiston teho on yleensä selvitettävä ulkopuolisen asiantuntijalaitoksen toimesta toiminnan vakiinnuttua. Selvitys käsittää tyypillisesti hajun poiston tehokkuuden ja poistokaasun hajuyksikkö- ja ammoniakkipitoisuuden mittaukset. Lisäksi usein selvitetään kertaluonteisesti poistokaasun keskeisten hajukomponenttien pitoisuudet valvontaviranomaisen kanssa erikseen sovittavalla tavalla.

Ensimmäisen mittauskerran jälkeisestä seurannasta sovitaan valvontaviranomaisen kanssa erikseen. Mikäli mittauksissa havaitaan kohonneita pitoisuuksia tai toiminnasta aiheutuu toistuvia hajuhaittoja lähiympäristössä, seuranta on jatkettava. Laitoksen hajuhaittaa ympäristössä on selvitettävä tarvittaessa hajupaneelitutkimusten tai vastaavan muun selvityksen avulla.

#### 14.1.1

### Raportointi

Vuosittain toimitetaan ympäristöluvan valvontaviranomaiselle edellistä kalenterivuotta koskeva yhteenvetoraportti toiminnasta ja toiminnassa muodostuneista päästöistä sekä lannoitevalmistelain valvontaviranomaiselle raportti omavalvonnan toteutumisesta. Raportin laatii tyypillisesti laitoksen ympäristöpäällikkö tai vastaava. Laitoksen tarkkailu on järjestettävä ympärivuotisesti siten, että vuosiraporttiin tarvittavat tiedot ovat saatavissa mahdollisimman vaivattomasti. Yleensä sama raportti voidaan toimittaa molemmille viranomaisille, kun se sisältää molempien tarvitsemat tiedot. Tämä on järkevä käytäntö, koska viranomaisille raportoitavat tiedot ovat pääosin yhtäläisiä.

Vuosiyhteenvetoraportti sisältää yleensä seuraavat tiedot:

- tuotetun biokaasun määrä ja käyttötapa
- tiedot vastaanotettujen jätteiden laadusta, määrästä ja käsittelystä
- tiedot toiminnassa syntyvien jätteiden ja lopputuotteiden määristä ja laadusta sekä toimituspaikoista ja kuljetustavoista
- tiedot varastossa olevista jätteistä ja lopputuotteista vuoden lopussa
- laitokselta toimitetun lannoitevalmisteen määrä, laadunvalvontatiedot ja toimituskohde
- yhteenveto ilmapäästöjen ja jätevesien tarkkailun tuloksista
- yhteenveto hajunkäsittelylaitteistojen toiminnasta ja käyttöajoista
- tiedot soihtupolton käyttöajasta
- selvitys häiriö- ja poikkeustilanteista (syy, kesto, päästö) ja korjaavista toimenpiteistä

Käytöntarkkailua sekä prosessin ja lopputuotteen laadun tarkkailua koskeva yksityiskohtainen kirjanpito on pyydettyä esitettävä valvoville viranomaisille.

Tyypillisiä häiriötilanteita, joita esiintyy laitoksilla muutamia vuosittain, ovat esimerkiksi vaahdon muodostuminen reaktorissa, häiriöt sähkönsyötössä, venttiilien vuodot ja muut osien normaalista kulumisesta aiheutuvat rikkoontumiset.

## Tarkkailussa huomioitavaa

### Syötteen varastointi

Syötteet on varastoitava biokaasulaitoksella siten, että ne eivät aiheuta hajuhaittoja. Lisäksi syötteen varastointiaika on pidettävä lyhyenä, jottei syötteen hajoaminen ala jo ennen reaktoriin siirtämistä. Nopeasti hajoavien syötteen sopiva varastointiaika on enintään noin 2 - 3 vuorokautta. Kuivana säilytettäviä syötteitä voidaan varastoida jopa kuukausia.

### Biokaasuprosessin tarkkailu

Prosessin toimivuuden ja ongelmien ennakkoinnin kannalta on tärkeää että oleellisia prosessiparametreja (biokaasun tuotto ja metaanipitoisuus, prosessilämpötila) seurataan jatkuvasti. Näin voidaan todeta mahdolliset ongelmat mahdollisimman aikaisin. Erityisesti prosessinseuranta korostuu silloin, kun lisätään uutta syötettä, jota aiemmin ei ole käsitelty.

Orgaanisen aineen reduktio kertoo siitä, kuinka tehokkaasti syöte tulee laitoksessa käsiteltyksi. Käsittelyn tehokkuuden heikkeneminen voi johtua useista tekijöistä tai niiden yhteisvaikutuksesta. Reduktio voidaan todeta analysoimalla orgaanisen aineen osuus syöteseoksesta sekä käsittelyjäännöksestä. Vakaalla jatkuvatoimisella biokaasulaitoksella päästään 50 - 60 % reduktioon orgaanisen aineen (VS) pitoisuudessa. Laboratorio-oloissa voidaan päästä panoskokeissa noin 70 - 75 % VS-reduktioon.

Syötteen ajoittaiset laatuvariaatiot ja määrän suhteelliset vaihtelut yhteiskäsittelylaitoksen syöteseoksessa voivat aiheuttaa häiriötä prosessiin. Yhteiskäsittelyprosessissa on oleellista seurata eri syötekomponenttien tuorepaineiden lisäksi orgaanisen aineen määriä, ts. reaktorin kannalta orgaanista kuormitusta tai toisaalta typpikuormitusta. Vähäisetkin syötteen tuorepaine-osuusmuutokset voivat olla merkittäviä orgaanisen tai typpikuormituksen kannalta, johtuen eri jätekomponenttien koostumuseroista.<sup>34</sup>

Lisäksi biokaasulaitoksessa on seurattava seuraavia muuttujia, jotka voivat vaikuttaa sen toimintaan:

- Hygienisointiyksikön toimivuus
- Reaktorin pinnan korkeus (vaahtoaminen)
- Reaktorin lämpötila
- Reaktorin paine
- Kaasuvaraston paine

Normaalioloissa biokaasun saanto ja sen metaanipitoisuus ovat vakaita. Mikäli syöteseosta muutetaan, voidaan laskelmien avulla ennakoida, onko muutoksella vaikutusta orgaaniseen kuormitukseen ja tätä kautta biokaasunsaantoon tai metaanipitoisuuteen.

### Biokaasun palamisen hallinta

Käytännössä täydellinen palaminen vaatii teoreettista määrää enemmän palamislämpöä. Liian suuri ilmaylimäärä heikentää palamishyötysuhdetta. On kuitenkin huo-

lehdittava, ettei palaminen tapahdu ali-ilmalla, koska silloin muodostuu häkää ja savukaasuihin jää palamattomia hiilivetyjä. Jopa nokea voi muodostua.

Kun palamista säädetään savukaasumittausten avulla, on varmintä mitata aina sekä happi- että häkäpitoisuus. Pelkkä happi- ja häkämittaus ei takaa täydellistä palamista, sillä häkää voi syntyä kaasun ja palamisilman huonon sekoittumisen vuoksi. Myöskään CO<sub>2</sub>-pitoisuus ei yksinään kerro sitä, tapahtuuko palaminen yli- vai ali-ilmalla. Jos käytössä ei ole savukaasun happijäännökseen perustuvaa palamisilmamäärän säätöä, kannattaa ilmakerroin pitää vähintään arvossa 1,2.

#### 14.2.4

### Lopputuotteen tarkkailu

Biokaasulaitoksella tuotetun käsittelyjäännöksen laatua tulee seurata lannoitevalmistelain (539/2006) ja sen nojalla annettujen maa- ja metsätalousministeriön asetuksien mukaisesti.

#### 14.3

### Poikkeustilanteet

Laitoksen toiminnassa tapahtuvien laiterikkojen tai muiden häiriöiden seurauksena voi aiheutua esimerkiksi vesipäästöjen, räjähdysvaaran tai terveydelle haitallisten kaasumaisten päästöjen riskejä.

#### 14.3.1

### Vesipäästöt

Poikkeuksellisia vesipäästöjä syntyy tyypillisimmin käsittelyjäännöksen kuivauksesta rejektivesiin. Päästö vaikeuttaa rejektivesien käsittelyä tai niiden johtamista viemäriin. Kuivauslaitteiden rejektivesien laadun tarkkailulla voidaan poikkeukselliset päästöt havaita ajoissa ja estää rejektivesien käsittely-yksikön joutuminen häiriötilanteeseen. Tyypillinen kuivauslaitteiston häiriötä kuvaava suure on rejektiveden kiintoainepitoisuus. Rejektiveden jatkuvatoimiset kiintoaineen mittalaitteet edellyttävät päivittäistä kunnossapitoa ja huoltoa, jotta mittaustulokset olisivat luotettavia.

#### 14.3.2

### Tulipalo- ja räjähdysvaara

Metaani on erittäin syttyvää ja räjähtävää, jos sitä on ilmassa 5 - 15 tilavuusprosenttia. Biokaasuvuoto voi aiheuttaa hetkellisesti räjähdysvaarallisen seoksen ilman kanssa. Tällöin se vaatii kuitenkin ulkopuolisen sytytyslähteen. Käytännössä metaani nousee ilmaa kevyempänä korkeammalle vuotolähteestä ja laimenee.

Rikkivety on räjähtävää, jos sitä on ilmassa 4,3 - 46 tilavuusprosenttia. Ammoniakki on räjähtävää, kun sitä on ilmassa 15 - 28 tilavuusprosenttia. Biokaasun sisältämä rikkivety tai ammoniakki on pitoisuudeltaan niin vähäistä, etteivät ne aiheuta räjähdysvaaraa edes vuototilanteessa. Yhteiskäsittelylaitoksilla ja jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla on riskialttiissa tiloissa tyypillisesti kaasunilmaisimia.

Mikäli biokaasulaitoksen jatkokäsittelynä on terminen kuivaus, suunnittelussa on otettava huomioon pölyräjähdys- ja tulipalovaara. Sähköistys, koneet, laitteet ja instrumentointi toteutetaan ATEX-periaatteiden mukaan.

### Terveydelle haitalliset päästöt ilmaan

Normaalissa toiminnassa biokaasulaitokselta ei vapaudu kaasuja työskentelytiloihin tai ympäristöön, koska prosessit suunnitellaan siten, että kaasu otetaan talteen. Häiriötilanteissa voi kuitenkin vapautua terveydelle haitallisia pitoisuuksia metaania ( $\text{CH}_4$ ), hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ), rikkivetyä ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ja ammoniakkia ( $\text{NH}_3$ ).

Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön arvioita työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle. Ne on vahvistettu työturvallisuuslain<sup>35</sup> nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (795/2007). Taulukkoon 21 on kerätty yhteen hiilidioksidin, rikkivedyn ja ammoniakin HTP-arvot.

Taulukko 21. Terveydelle haitalliset kaasut ja niiden haitalliset pitoisuudet ja altistusajat.<sup>36</sup>

	8h		15 min	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Metaani	-	-	-	-
Hiilidioksidi	5000	9100	-	-
Rikkivety	10	14	15	21
Ammoniakki	20	14	50	36

Metaani ( $\text{CH}_4$ ) on ilmaa kevyempi, hajuton ja väritön kaasu. Suurena pitoisuutena metaani voi aiheuttaa tukehtumisen alentamalla ilman happipitoisuutta. Metaanille ei ole määritetty HTP-arvoa.

Hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) on väritön, lähes hajuton ilmaa raskaampi kaasu. Hiilidioksidi voi kerääntyä mataliin tiloihin, jossa suuret pitoisuudet voivat aiheuttaa hapenpuutetta.

Rikkivety ( $\text{H}_2\text{S}$ ) on ilmaa raskaampi väritön myrkyllinen kaasu, jolle tunnusomaisista on mädäntyneen kananmunan haju. Rikkivedyn hajukynnys on 0,008 ppm (0,011 mg/m<sup>3</sup>). Hajuaisti turtuu altistumisen jatkuessa ja lamaantuu yli 100 ppm (150 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuuksissa. Lyhytaikainen altistuminen voi aiheuttaa silmien ja hengitysteiden ärsyyntymistä. Yli 500 ppm (750 mg/m<sup>3</sup>) pitoisuudessa altistuminen aiheuttaa viidessä minuutissa vakavia hermostollisia oireita ja tajuttomuutta, hengityskeskuksen lamaantumisen ja kuoleman jopa puolessa tunnissa.

Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on ilmaa kevyempi väritön myrkyllinen kaasu, jossa on pistävä haju. Ammoniakin hajukynnys on 5 - 50 ppm (3,6 - 36 mg/m<sup>3</sup>). Suurien pitoisuuksien hengittäminen voi aiheuttaa keuhkopöhön. Vuototilanteen sattuessa ilmakehään vapautuvat kaasumaiset yhdisteet laimenevat nopeasti, joten terveydelle haitalliset pitoisuudet ovat erittäin epätodennäköisiä laitoksen ympäristössä.

Sen sijaan häiriötilanteissa on mahdollista, että kaasumaisia yhdisteitä vapautuu prosessitiloihin haitallisina pitoisuuksina, mikä voi aiheuttaa terveyshaittaa laitoksen käyttöhenkilökunnalle.

## 15 Biokaasun tuotannon paras käytettävissä oleva tekniikka Suomessa

Parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (BAT) määritettäessä on otettava huomioon kaikki ne seikat, joilla on merkitystä toiminnan ympäristövaikutuksiin, tekniseen käyttökelpoisuuteen ja taloudellisuuteen. Paras käyttökelpoinen tekniikka yksittäisellä biokaasulaitoksella arvioidaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon kunkin toiminnan erityispiirteet. Ympäristövaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon toiminnan luonne sekä alueen ominaisuudet, jolla toiminnan vaikutukset ilmenevät. Ympäristövaikutuksista tarkastellaan ilmaan ja vesiin aiheutuvien päästöjen lisäksi jätteiden laatua, määrää ja vaikutusta, raaka-aineiden ja kemikaalien käyttöä ja varastointia, jätteiden hyötykäyttöä sekä energian käytön tehokkuutta. Teknisen käyttökelpoisuuden arvioinnissa keskeisiä lähtökohtia ovat tuotantomenetelmät, prosessitekniikka, prosessin hallinta, riskien ja onnettomuuksien ehkäisy, henkilöstön koulutus sekä laitoksen sijainti ja ikä.

Tässä selvityksessä on keskitytty kuvaamaan Suomessa vuonna 2008 olemassa olevissa biokaasulaitoksissa käytössä olevia tekniikoita ja menetelmiä. Lisäksi BAT-päätelmien pohjana on hyödynnetty EU-tasolla valmistellun jätteiden käsittelyn BAT-vertailuasiakirjan päätelmiä. Selvityksessä esitetyn tiedon perusteella ei ole mahdollista esittää eri tekniikoiden käyttöön liittyviä päästö- tai kulutustasoja tai tehdä eri tekniikoiden välistä vertailua.

### 15.1

#### **Yleiset käyttö- ja suunnitteluperiaatteet**

Laitoksen suunnitteluvaiheeseen kuuluu sen parhaan mahdollisen sijainnin arviointi. Tällöin otetaan huomioon käsiteltävien syötteiden kuljetusmatkat, käsittelyjännöksen loppusijoituksen kuljetusmatkat, biokaasun hyödyntämismahdollisuudet, mahdollisten jätevesien käsittelykapasiteetti sekä lähialueen asutus ja muu toiminta, jolle voi aiheutua hajuhaittaa. Laitospaikkaa valittaessa on suositeltavaa varmistaa energian kysyntä pitkäaikaisin sopimuksin.

Parhaan käytettävissä olevan tekniikan mukaista on valita biokaasulaitoksessa käsiteltävälle syöteseokselle soveltuva prosessi. Mikäli syöteseoksen koostumus vaihtelee ja siihen ei voida vaikuttaa, valitaan prosessi, joka pystyy käsittelemään ominaisuuksiltaan vaihtelevia syötteitä. Mikäli syötteen laatu tunnetaan ja sitä voidaan valvoa, prosessi voidaan suunnitella juuri tätä syötettä varten. Valittu prosessi ja syötteiden laatu vaikuttavat ratkaisevasti myös siihen, minkä tyyppinen rejektivesien ja hajukaasujen puhdistusprosessi laitokseen tarvittaessa soveltuu.

Biokaasulaitoksessa ei tule käyttää sellaista syötettä, joka ei sovellu laitoksen prosessiin. Soveltumattoman syötteen käyttö voi aiheuttaa ongelmia laitoksen toimivuudelle, päästöille, turvallisuudelle ja lopputuotteen hyödyntämiselle. Suunniteltaessa biokaasulaitosta, käytettävät syötteet on tunnettava tarkasti ja niiden ominaisuudet

otettava huomioon jo prosessia suunniteltaessa. Jo suunnitteluvaiheessa on hyvä luoda yhteydet syötteiden tuottajiin. Tällöin syötteen tuottajalla on mahdollisuus vaikuttaa sen laatuun.

Laitoksen käyttö suunnitellaan niin, että sitä voidaan käyttää mahdollisimman tasaisesti ja käynnistysten ja pysäytysten määrät ovat mahdollisimman vähäisiä. Vaativista olosuhteista (esim. korroosio) johtuen suunnittelussa otetaan huomioon rakennusmateriaalien ja laitteiden kestävyys ja käyttöikä. Hyvän suunnittelukäytännön mukaista on myös keskustella laitoksen teknisistä palosuojeluratkaisuista ja sammutussuunnitelmista paikallisten pelastusviranomaisten kanssa jo suunnittelun alkuvaiheessa.

#### **BATia on**

- **valita laitokselle paras mahdollinen sijaintipaikka**
- **valita syötteet ja prosessit siten, että biokaasu ja käsittelyjäännös voidaan hyödyntää**
- **valita käsiteltävälle syöteseokselle soveltuva prosessi**
- **suunnitella laitos siten, että biokaasulaitosta voidaan ajaa keskeytymättä ja ilman ongelmia**
- **huomioida laitteiden ja materiaalien kestävyysvaatimukset**

## 15.2

### **Syötteen laadun hallinta ja esikäsittely**

Syötteiden laadun hallinta ja esikäsittelytekniikat ovat biokaasulaitoksen toiminnan kannalta keskeisiä asioita. Jokaisella biokaasulaitoksilla on omat tekniset ja toiminnalliset ominaisuutensa, joiden perusteella määräytyy, minkälaista syötettä laitos voi ottaa vastaan. Laitoksen ominaisuuksien tunteminen on syöteseoksen ja syöttösuunnitelman laatimisen lähtökohta.

#### 15.2.1

#### **Syötteen ominaisuuksien tunteminen**

Parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa on laatia laitoksen ominaisuuksien perusteella spesifikaatiot (laatukriteerit) vastaanotettaville syötteille ja suunnitella toimenpiteet, joilla varmistetaan spesifikaatioiden noudattaminen. Hyväksyttävän syötteen spesifikaatioon vaikuttavat vastaanotto- ja varastointijärjestelyt, laitoksen prosessi, jäteveden puhdistusprosessi sekä käsittelyjäännöksen hyödyntämis- ja sijoitustavat. Näiden perusteella voidaan määrittää vastaanotettavalle syötteelle hyväksyttävät:

- Olomuodot, palakoot ja eri syötetyyppien määrät
- Kuiva-ainepitoisuuden ja orgaanisen kuormituksen vaihteluvälit
- Haitallisten metallien ja muiden haitta-aineiden pitoisuudet
- Muut vaadittavat ominaisuudet

Syöteseoksen muutoksilla on aina vaikutusta prosessin toimintaan. Merkittävät poikkeamat voivat aiheuttaa toimintahäiriöitä ja prosessin keskeytymisen. Erityisesti yhteiskäsittelylaitoksiin voidaan tarjota hyvin erilaisia syötteitä, joiden käsittely ei välttämättä ole mahdollista tai on erittäin vaikeaa. Syötteen joukkoon saattaa lisäksi aina päätyä siihen kuulumattomia, ongelmia aiheuttavia jakeita.



Erilliskerättyä biojätettä ja laadultaan vaihtelevia teollisuuden jätteitä käsiteltäessä syötteiden laadun hallinta on vaikeaa, koska niiden koostumus voi vaihdella vuodenaikojen tai teollisuuden prosessien muutosten seurauksena. Uusien syötteiden vaikutukset kaasuntuottoon, muihin prosessiparametreihin ja lopputuotteen laatuun on aina arvioitava tapauskohtaisesti. Mikäli syötesekokseen on lisättävä vettä sen käsiteltävyyden parantamiseksi, käytetään ensisijaisesti rejektivettä tai nestemäisiä syötteitä ja vältetään talousveden käyttöä.

Mikäli syötteet tunnetaan hyvin, voidaan laskea syötesekoksen energiasisältö. Tämän perusteella taas voidaan arvioida saatavan biokaasun määrää. Mikäli biokaasun määrä todellisuudessa osoittautuu oleellisesti arvioitua pienempi, voidaan prosessin olettaa toimivan huonosti.

#### **BATia on**

- **tuntea biokaasulaitoksen ominaisuudet ja käsittelymahdollisuudet ja niiden rajoitukset**
- **laatia laitokseen vastaanotettaville syötteille laatukriteerit ja laatia laitoksen syöttösuunnitelma niiden perusteella**
- **varmistaa laitoksen syöttösuunnitelman noudattaminen riittävällä seurannalla**
- **tunnistaa laitokselle soveltumattomat erät ja estää niiden vastaanottaminen**

#### 15.2.2

### **Esikäsittelytekniikan valinta**

Esikäsittelyn tarkoitus on saattaa syöte paremmin käsiteltävään muotoon ja/tai poistaa siitä epäpuhtaudet. Laitoksen esikäsittelytekniikat on valittava käytettävän syötesekoksen ja prosessin vaatimusten perusteella. Tällöin huomioidaan erityisesti syötteiden ominaisuudet, kaasuntuoton tavoitteet sekä käsittelyjännöksen hyödynnettävyys. Esikäsittelyssä mahdollisesti syntyvien ylimääräisten jakeiden (esim. metalli, kivi ja muovi) sijoittaminen on myös otettava huomioon. Ylimääräiset jakeet voidaan koota sekajäteastiaan tai lavalle ja puristaa tilavuuden pienentämiseksi ennen loppusijoitusta.

Hygienisointia tai sterilointia vaativia syötteitä ei ole hyvä sekoittaa muihin syötteisiin ennen esikäsittelyä, koska tällöin koko syötesekoksen käsittelyvaatimus syntyy vaativimman jakeen mukaan. Hygienisointiin tulee käyttää ensisijaisesti laitoksen biokaasulla tuotettua energiaa.

#### **BATia on**

- **valita esikäsittelymenetelmät syötteiden ja prosessin vaatimusten mukaisesti**
- **mahdollisuuksien mukaan kohdistaa esikäsittely vain sitä vaativaan syötteeseen**
- **arvioida valittujen syötteiden ja esikäsittelymenetelmien edellyttämät toimet hajujen hallitsemiseksi**

### Syötteiden varastointi

Valittujen syötteiden perusteella arvioidaan syötteiden varastotilojen tarvetta ja syötteiden logistiikkaa. Syötteiden varastointi mahdollistaa eri hetkinä toimitettujen syöte-erien sekoittamisen ja sitä kautta laadultaan tasaisemman syötesekoksen syöttämisen. Syötteiden varastointiaika rajataan niiden säilyvyyden perusteella. Erityisesti otetaan huomioon haisevat ja helposti pilaantuvat (luokka 3) syötteet. Varastointi ja käsittely suunnitellaan lisäksi niin, että työntekijät eivät joudu kosketuksiin syötteiden kanssa.

Kuivat syötteet, joiden hajoaminen sellaisenaan on hidasta (esim. heinä, tärkkelys), voidaan varastoida pitkiäkin aikoja tarkoituksenmukaisessa kuivavarastossa. Varastossa on tiiviit, kestävät pohjarakenteet ja viemärijärjestelyt, joiden kautta varastoon kertyvä neste poistuu hallitusti ja se on johdettavissa nestemäisten syötteiden säiliöön.

Nestemäiset, nopeasti hajoavat syötteet tulisi varastoida tiiviissä säiliöissä. Näiden syötteiden varastointiaika mitoitetaan siten, ettei hajoaminen ala ennen syöttämistä reaktoriin. Syötteiden kuormaus- ja purkualueet ovat tiiviitä ja viemäriäilyä. Hajukaasuja tuottavien syötteiden varastoinnista syntyvä poistoilma käytetään ensisijaisesti ottoilmana biokaasun hyödyntämisvaiheessa tai johdetaan käsittelyyn.

Varaston poistoilman johtaminen esimerkiksi CHP-laitoksen palamisilmaksi on suositeltavaa. Tämän järjestelyn avulla vähennetään varastosta ympäristöön pääsevien haihtuvien aineiden ja pölyn määrää ja niihin liittyviä hajuja ja haitallisia aineita.

#### BATia on

- varautua syöttösuunnitelman mukaisten sekä kuivien että nestemäisten syötteiden varastointiin asianmukaisella tavalla
- käsitellä hajukaasuja muodostavat syötteet mahdollisimman nopeasti
- tarvittaessa käyttää syötteiden varastoinnissa syntyvät hajukaasuja sisältävät ilmavirrat ottoilmana biokaasun polttohyödyntämisprosessissa tai johtaa ne hajukaasujen käsittelyyn

### Prosessinhallinta ja huolto

Laitoksen yleinen järjestys ja siisteys helpottavat kaikkea toimintaa ja auttavat huomaamaan mahdollisia ympäristöön vaikuttavia poikkeamia nopeasti. Prosessia ja tarvittavia huoltotoimenpiteitä voidaan hallita laatimalla laitokselle ajosuunnitelma ja suunnitelman seurantapäiväkirja. Myös laitoksen käyttäjien osaamisen taso tulee olla riittävä laitoksen ongelmattoman toiminnan varmistamiseksi.

#### Laitoksen ajosuunnitelma ja seurantapäiväkirja

Laitokselle laaditaan ajosuunnitelma ja seurantapäiväkirja, joiden avulla voidaan nopeasti todeta mahdollisten ongelmien syyt. Ajosuunnitelmassa määritetään esimerkiksi reaktorin kuormitus, viipymäaika sekä lisättävän syötesekoksen parametrit. Lisäksi määritetään laitteiden ja instrumenttien käyttö ja kalibroinnin ajankohdat sekä muut laitoksen kunnossapitotoimenpiteet ja niiden ajankohdat. Ajosuunnitelma kos-

kee myös mahdollisten päästöjen rajoittamista ja käsittelyn yksikköprosesseja, kuten hajukaasujen ja rejektivesien käsittelyä. Käyttökirjanpidossa seurataan säännöllisesti ajosuunnitelmassa määritettyjen toimenpiteiden toteutumista sekä reaktorin lämpötilaa, biokaasun määrää ja laatua sekä mahdollisia häiriöitä ja poikkeamia.

Laitoksen prosessin käyttö suunnitellaan siten, että käsiteltävien syötteiden määrä voidaan pitää mahdollisimman lähellä suunnitteluarvoa. Muiden yksikköprosessien raaka-aineita, kuten lietteen mekaanisessa kuivauksessa käytettävää akryyliamidi-pohjaista polymeeriä ja hajukaasun käsittelyssä tarvittavia happoja, emäksiä ja happeittavia aineita käytetään ajosuunnitelmassa asetettujen tavoitteiden (lietteen kuiva-ainepitoisuus, rejektiveden ja hajukaasujen enimmäispitoisuudet) saavuttamiseksi.

#### **BATia on**

- laatia laitoksen ajosuunnitelma ja seurantapäiväkirja sekä noudattaa niitä
- laatia laitoksen huolto- ja ylläpito-ohjelma
- varmistaa riittävä koulutus laitoksen käyttäjille

Parhaan mahdollisen toimintavan mukaista on lisäksi ongelmatilanteissa varautua seuraavien parametrien mittaukseen, mikäli aikaisemmat mittaukset eivät riitä ongelmien selvittämiseksi:

- orgaaninen kuormitus
- pH
- alkaliteetti
- haihtuvat rasvahapot

#### **15.3.2**

### **Energiatehokkuus**

Biokaasulaitoksen oma energiankulutus koostuu syötteen pumppaamisesta ja esikäsittelystä, reaktorin sekoituksesta ja lämmityksestä, käsittelyjäännöksen kuivauksesta, kohdeilmanpoistosta sekä rejektiveden käsittelystä. Lisäksi on huomioitava muiden rakennusten energiankulutus. Tavoitteena on suunnitella biokaasulaitos siten, että laitos voi toimittaa ylijäämäenergiaa laitoksen ulkopuolelle. Biokaasulaitoskokonaisuus ja sen yksikköoperaatioiden määrä vaikuttavat kuitenkin laitoksen energiataaseeseen merkittävästi eikä tavoitteeseen aina päästä.

Ennen syötteen siirtämistä reaktoriin, se esilämmitetään. Energiankulutuksen minimoimiseksi syötteen esilämmitykseen käytetään lämmönvaihtimien avulla hyödynnettävää poistettavan käsittelyjäännöksen hukkalämpöä. Syötettävän syötteen ja poistettavan käsittelyjäännöksen putkistot voidaan myös sijoittaa siten, että lämpö siirtyy suoraan syötettävään jakeeseen. Myös laitoksen muita yksikköprosesseja, kuten hajukaasujen puhdistusjärjestelmää suunniteltaessa ja mitoitettaessa otetaan huomioon yksikköprosessien vaikutus energiankulutukseen.

#### **BATia on**

- suunnitella laitos ja käyttää sitä energiatehokkaasti
- käyttää lämmöntalteenottoa ja laitoksen ylijäämäenergiaa, kun se on hyödynnettävissä
- arvioida kaikkien yksikköprosessien vaikutus suhteessa energiankulutukseen

## Biokaasun käsittely, varastointi ja hyödyntäminen

Biokaasun käsittelyssä, varastoinnissa ja hyödyntämisessä on aina pyrittävä energia-tehokkaaseen kokonaisuuteen. Tähän sisältyy jatkuva selvilläolo biokaasun laadusta ja sen muutoksista. Lisäksi on otettava huomioon hyödyntämislaitteiston vaatimukset käytettävälle biokaasulle sekä laitteiston säätöjen tarkoituksenmukaisuus.

Biokaasu tulee käsitellä (puhdistaa) ennen hyötykäyttöä tarkoituksenmukaisella tavalla, jotta sen laatu vastaa hyödyntämislaitteiston vaatimuksia. Esimerkiksi veden-erotus biokaasusta ennen hyödyntämistä kuuluu jokaisen laitoksen perustoimenpiteisiin. Hyödyntämislaitteiston ongelmaton toiminta edellyttää puskurivarastoa, joka tasaa biokaasun laatua.

Laitokset suunnitellaan ja mitoitetaan siten, että niissä muodostuva biokaasu hyödynnetään lämmön tai sähkön tuotannossa tai liikennepolttoaineena. Laitoksilla tulee olla soihtu tai muu vararatkaisu sen varalta, että ensisijainen biokaasun hyödyntämislaitteisto rikkoontuu tai kaasua ei voida hyödyntää energiantuotannossa. Tällöin biokaasu poltetaan eikä sen sisältämä metaani pääse vapautumaan ilmakehään. Soihtupolton käyttö tulisi rajoittaa lähinnä häiriötilanteisiin, sillä soihtupoltossa palamisolosuhteet vaihtelevat ja palaminen on epätäydellistä. Soihtupolton on myös todettu aiheuttavan hajuyhdisteiden muodostumista. Vararatkaisuna voi soihdun asemasta olla myös lämpökattila, joka on mitoitettu siten, että sillä voidaan tuhota tarvittaessa koko syntyvä kaasuvirta.

### BATia on

- käsitellä kaasua hyödyntämistavan edellyttämällä tavalla (ks. kappale 9.4)
- huomioida biokaasun laatu ja hyödyntämislaitteiston säädöt sekä riittävä varasto
- varustaa laitos kaasun hyödyntämislaitteiston vikojen varalta soihdulla tai muulla varajärjestelmällä biokaasun polttamiseksi

## Käsittelyjäännöksen jatkokäsittely loppusijoitusta varten

Käsittelyjäännöksen jatkokäsittelytekniikan tarpeen arvioinnissa otetaan huomioon lopputuotteen hyödyntämistapa. Ensisijaisesti pyritään tuotteistamaan mahdollisimman suuri osa käsittelyjäännöksestä, jolloin voidaan vähentää jätteenä loppusijoitettavan materiaalin määrää ja käsiteltävien jätevesien kuormaa. Mahdollisia jatkokäsittelytekniikoita ovat esimerkiksi mekaaninen kuivaus, terminen kuivaus sekä kompostointi. Käsittelyjäännös voidaan myös hyödyntää energiana polttamalla asianmukaisessa polttolaitoksessa tai sijoittaa kaatopaikalle, ellei hyödyntäminen muuten ole mahdollista.

### BATia on

- tuotteistaa mahdollisimman suuri osa käsittelyjäännöksestä
- vähentää jatkokäsittelyllä jätevesien aiheuttamaa kuormitusta
- lopputuotteiden asianmukainen varastointi

## Päästöt

### Päästöt ilmaan

Hajupäästöjen vähentämiseksi vastaanottoaltaiden ja rakennuksen sekä lietteen mekaanisen kuivauksen ja lietteen termisen kuivauksen tilojen ilmanvaihto järjestetään tarvittaessa siten, että haisevia yhdisteitä sisältävä ilma saadaan kootusti käsittelyyn. Tilojen kulkuovien sekä altain ja säiliöiden aukkojen suunnittelulla minimoidaan käsiteltävän ilmapirran määrä ja saadaan hajukaasut mahdollisimman konsentroiduiksi.

Biokaasulaitoksella syntyvät hajut hallitaan siten, etteivät ne aiheuta haittaa lähialueen asutukselle tai yritystoiminnalle. Hajukaasujen käsittelytekniikoina voidaan käyttää biologisia suodattimia ja kemiallisia pesureita, jotka voivat perustua hapetukseen (otsoni, vetyperoksidi) taikka emäksisiin (lipeä) tai happamiin (riikkihappo, typpihappo, suolahappo) olosuhteisiin. Puhdistustekniikoiden valinnassa on otettava huomioon hajukaasujen koostumus sekä hajua aiheuttavien komponenttien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet ja se, miten niihin voidaan vaikuttaa.

Hajukaasun käsittelyn jälkeen laitoksen poistoilma johdetaan ensisijaisesti ottoilmaksi biokaasun hyödyntämisprosessiin. Mikäli tämä ei ole mahdollista, puhdistetut hajukaasut johdetaan laitokselta pois siten, että ne sekoittuvat mahdollisimman hyvin ympäristön ilmapirtoihin ja aiheuttavat mahdollisimman vähän hajuaistimuksia tai ne johdetaan hajukaasun käsittelyyn (esimerkiksi biosuodin, kemiallinen pesuri tai näiden yhdistelmä).

Ilmavirtojen hallinnan ja käsittelymenetelmien suunnittelun lähtökohtana tulee olla arvio päästöistä, mallinnus hajujen leviämisestä sekä kartoitus mahdollisista hajuhaitoille alttiista kohteista. Suurilla laitoksilla on suositeltavaa laatia hajupäästöjen mallinnus, mikäli halutaan tarkemmin selvittää syntyvä hajukuormitus ja sen vaikutus ympäristöön. Pienillä laitoksilla (< 5 000 t/a) lietteitä ja kasvibiomassaa käsiteltäessä ei yleensä edellytetä hajukaasujen käsittelyä. Mekaanisen kuivauksen yhteydessä on joskus ja termisen kuivauksen yhteydessä lähes poikkeuksetta hajukaasut käsiteltävä. Myös rejektivesien käsittelyssä mahdollisesti syntyvät hajut on otettava huomioon.

#### BATia on

- käsiteltävien ilmapirtojen minimointi ja kerääminen yhteen
- hallita ja tarvittaessa käsitellä hajukaasut siten, ettei lähialueelle aiheudu haittaa
- arvioida laitoksen aiheuttamat hajupäästöt

### Päästöt vesiin

Biokaasulaitokselta pois johdettavien jätevesien määrä ja kuormitus minimoidaan ja myös nestemäinen käsittelyjäännös hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan. Käsittelyjäännöksestä kuivauksen yhteydessä syntyvät jätevedet käsitellään fysikaalis-biologis-kemiallisesti tai muulla soveltuvalla menetelmällä, joka mitoitetaan siten, että käsittely ei tuota ongelmia laitoksen toiminnalle. Rejektivesien puhdistustekniikoina

voidaan käyttää selkeytystä, flotaatiota, biologista nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessia muunnelmiseen, kemiallista fosforin poistoa ja jälkikäsitteilynä hiekkasuodatus- ja kalvosuodatustekniikoita. Puhdistustekniikoiden käyttö edellyttää osaavaa henkilökuntaa ja prosessinohjausta.

Etukäteen selvitetään, voiko mahdollisten kemikaalien käytöstä aiheutua ongelmia. Laitoksella käytettävistä kemikaaleista (ml. käyttöturvallisuustiedotteiden saatavuus ja kemikaalien asianmukainen varastointi) ja niiden kulutuksesta ylläpidetään listaa.

Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla ei tyypillisesti synny ongelmia jäteveden määrästä tai kuormituksesta, koska rejektivesi voidaan johtaa takaisin käsiteltävän jäteveden sekaan.

Mikäli käsitelty rejektivesi johdetaan luontoon, puhdistetun jäteveden laskeminen vesistöön edellyttää ympäristölupaa. Jätevesi on tällöin käsiteltävä monivaiheisella prosessilla ja käsitellyn veden tulee vastata laadultaan käsiteltyä yhdyskunta- tai teollisuusjätevettä.

Mikäli puhdistettua jätevettä ei voida laskea vesistöön, ne johdetaan edelleen kunnalliselle tai vastaavalle puhdistamolle. Tämä edellyttää mahdollisen ympäristöluvan lisäksi teollisuusjätevesisopimusta ja tällöin on aina tapauskohtaisesti huomioitava puhdistamon vastaanottokapasiteetti ja laitoksen asettamat raja-arvot vastaanotettavalle jätevedelle. Vastaanottomahdollisuutta voidaan arvioida laskemalla rejektiveden puhdistamolle aiheuttama kuormituslisä.

#### **BATia on**

- käsiteltävien jätevesien määrän minimointi
- käsittelyyn johdettavien jätevesien kuorman minimointi
- jätevesien käsittely biologis-kemiallis-fysikaalisella puhdistuksella
- valumavesien hallinta

#### 15.7

### **Tarkkailu ja poikkeamat**

Biokaasulaitoksen toimintaa voidaan tarkkailla etukäteen laadittujen ajosuunnitelman sekä seurantapäiväkirjan avulla. Lisäksi mahdollisiin häiriötilanteihin ja ongelmiin varaudutaan laatimalla toimintasuunnitelmat näiden varalle.

Parhaan käytettävissä olevan tekniikan mukaista on laatia laitokselle tarkkailu- ja seurantasuunnitelma. Suunnitelman on katettava poikkeustilanteiden vaaraa vähentävät toimenpiteet.

Suunnitelmassa on huomioitava erityisesti:

- Syötteiden käsittely- ja varastointialueet
- Sähkö- ja automaatiotilat
- Mekaaninen ja terminen kuivaus
- Kaasun käsittely- ja hyödyntämislaitteistot ja niiden tilat
- Kriittisten pisteiden valvonta
- Hygienisointiyksikön valvonta

Biokaasuprosessissa syntyvän metaanin räjähdysriskin pienentämiseksi kaasuvuodot minimoidaan ja kaasun purkautuminen poikkeustilanteissa ulkoilmaan suunnitellaan hallituksi.

Suunnitelmaan sisällytetään myös sammutussuunnitelma. Suositeltavaa on varustaa edellä mainitut neljä laitosesaa automaattisilla palonilmaisimilla ja harkinnan mukaan automaattisilla sammuttimilla. Kaasun käsittely- ja hyödyntämlaitteistojen laitostilat varustetaan kaasunilmaisimilla. Järjestelmän tekninen taso harkitaan kussakin kohteessa riskin perusteella.

**BATia on**

- laatia laitoksen tarkkailu- / omavalvontasuunnitelma ja noudattaa sitä
- varautua biokaasun käsittelyssä räjähdysriskiin

## 16 Uudet näköpiirissä olevat tekniset ratkaisut

Tässä luvussa on esitetty joitakin sellaisia tekniikoita, jotka eivät toistaiseksi ole Suomen biokaasulaitoksilla vakiintunutta tekniikkaa, mutta joita saatetaan tulevaisuudessa ottaa käyttöön laajemmin.

### 16.1

#### Lietteen kemiallinen käsittely

Lietteen kemiallinen hapotus ja vetyperoksidi-hapetus -käsittely on uudehko menetelmä, jonka tarkoituksena on käsittelyjäännöksen hygienisointi, hajun poisto sekä lietteen määrän vähentäminen. Tukholmassa, Käppalan puhdistamolla on käytössä tällainen käsittely biokaasulaitoksella käsitellylle jätevesilietteelle.

Hapotus ja hapetus -käsittelyssä lietteen pH lasketaan rikkihapolla noin neljään, jolloin metallisuolat ja -hydroksidit liukenevat ja lietteen vettäpitävä geelimäinen rakenne hajoaa. Hapetuksessa lietteeseen lisätään vetyperoksidia. Hapettavassa ympäristössä lietteen geelimäinen rakenne hajoaa edelleen ja siitä vapautuu vettä. Lietteen sisältämä rauta liukenee ja muodostaa ferrofosfaattia.

Rauta saostuu hapetuksen seurauksena uudelleen niukkaliukoiseksi ferrifosfaatiksi. Edellä esitetyllä tavalla käsitelty liete on hygieenistä ja hajutonta. Lisäksi liete voidaan kuivata mekaanisesti jopa 45 %:n kuiva-ainepitoisuuteen puristavalla kuivausmenetelmällä. Tällä tavoin lietteen määrää voidaan saada merkittävästi pienemmäksi. Mekaanisesti kuivattu liete täyttää hygieenisyyksvaatimukset ja soveltuu lannoitevalmisteenä maatalouskäyttöön sellaisenaan. Kompostoimalla siitä voidaan myös valmistaa multatuote viherrakentamiseen.<sup>37</sup>

### 16.2

#### Syötteen ultraäänikäsittely

Ultraääni on ääni, jonka taajuus ylittää 20 kHz. Kun ultraääni johdetaan nesteeseen, syntyy paine-eroja ja muodostuu pieniä alipainekuplia, jolloin paikallisesti muodostuva korkea paine ja lämpötila aiheuttavat voimakkaita leikkausvoimia.<sup>38</sup>

Syötteen ultraäänikäsittelyä on tutkittu Suomessa ja maailmalla useita vuosia. Ultraäänellä voidaan hajottaa solurakenteita, mikä vapauttaa niihin sitoutuneita ravinteita ja helpottaa mikrobien ravinteiden saantoa. Tämä taas parantaa edelleen käsittelytulosta ja biokaasun saantoa. Käsittely myös vähentää vaahtoamista rikkomalla rihmamaisten bakteerien rakenteen.



Haluttu käsittely tulee säätää laitoskohtaisesti ja säädettäviä parametrejä ovat esimerkiksi:<sup>39</sup>

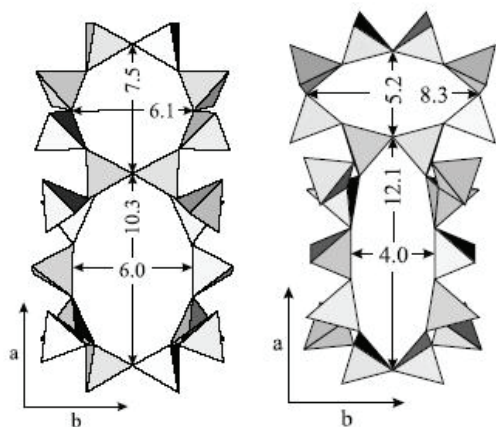
- Ultraäänen taajuus
- Ultraäänen teho
- Lietteen viskositeetti
- Käsittelylämpötila
- Kaasun osapaine lietteessä

### 16.3

## Prosessia stabiloivat lisäaineet

Prosessin toimintaa voidaan syötteiden lisäksi ohjata vakaampaan suuntaan siihen tarkoitettuilla lisäaineilla, jotka suojaavat mikrobitoimintaa inhibiittoreilta. Erityisesti lisäaineista voi olla apua, kun käsitellään syötteitä joissa on korkea orgaaninen kuorma ja/tai rasva- tai typpipitoisuus. Lisäaineet ovat tyypillisesti zeoliitteja, joilla muotonsa (nanokokoisia huokosia) ansiosta on suuri sisäinen pinta-ala verrattuna kokoonsa. Näin ne antavat mikrobitoiminnalle kiinnittymispinta-alaa. Lisäainekiteitä voidaan myös käsitellä siten, että ne hitaasti luovuttavat mikrobitoiminnalle tärkeitä hivenaineita (Fe, Co, Ni, Mo jne.).<sup>40</sup> Käytännössä syötteeseen lisätään lisäainejauhetta (esim. 500 g/t), joka sekoittuu normaalin turbulenssin avulla syötteeseen.

Lisäaineiden on todettu nostavan biokaasulaitoksen biokaasuntuottoa jopa kymmeniä prosentteja ja se yleensä johtaa myös parempilaatuihin käsittelyjäännöksiin täydellisemmän hajoamisen seurauksena. Myös biokaasun metaanipitoisuus tyypillisesti nousee. Mineraalipohjaisia lisäaineita on käytössä biokaasulaitoksilla Euroopassa, mutta ne eivät ole toistaiseksi yleistyneet Suomessa.



Kuva 27. Zeoliitti-ryhmään kuuluva aluminosilikaatti (Klinoplioliitti).<sup>41</sup>

### 16.4

## Rejektiveden haihdutus

Mikäli laitoksella on käytössään ylijäämäenergiaa, jota ei voida tehokkaasti hyödyntää, on mahdollista ohjata tämä energia rejektiveden haihdutukseen. Haihduttamisella voidaan vähentää käsiteltävän ja kuljetettavan rejektiveden määrää.<sup>42</sup>

Vaihtelevien syötteiden vuoksi kiintoaineen erotukseen on tällöin kiinnitettävä erityistä huomiota. Normaalisti käsittelyyn riittää linko, joka erottaa kuiva-aineen ja nestemäisen jakeen. Kiintoainepitoisuus ei ole kriittinen tekijä, mutta pitkät kasviosat voivat aiheuttaa ongelmia.

Rejektiveden ammoniakki pitää haihdutusta varten sitoa liuokseen, jottei se joudu lauhteiden joukkoon. Tämä tehdään säätämällä pH tasolle, jolla ammoniumtyppi ei pääse höyrystymään (noin 5,2). Erkaneva hiilidioksidi voi aiheuttaa vaahtoamista, jota voidaan hallita pienillä määrillä vaahdonestoainetta (200 - 300 ppm). Ennen liuoksen haihduttamolle johtamista siitä poistetaan vielä tyhjiössä ylimääräiset jään-  
nöskaasut.

Tämän jälkeen voidaan haihduttamokonsepti toteuttaa monin eri tavoin riippuen energian käytettävissä olevasta muodosta ja sen määrästä. Kyseeseen tulee käytännössä vain kaasumoottoreiden ylijäämälämpö tai sähkö, joka pyörittää höyrykompressorina. Ulkopuolinen lämpöenergia ei tule kyseeseen kalliista hinnasta johtuen. Laitoksessa kannattaakin tyypillisesti haihduttaa vähintään 2/3 vedestä, jotta se on kannattava.

Tyypillisesti haihdutusjärjestelmät saavat käyttöenergiansa kaasumoottoreiden jäähdytysjärjestelmän vedestä. Vesi yleensä on lämpötilaltaan 90 - 100 °C ja sen varaan voidaan rakentaa kolmevaiheinen sarjahaihduttamo. Haihduttamon spesifinen lämmön kulutus on 280 kWh/t haihdutettavaa vettä, mikäli jäännösliuoksen lämpötila kiinto-aineen erotuksen jälkeen on noin 35 °C. Jos kaasumoottorien hukkalämpöä ei ole käytettävissä, voidaan käyttää höyryn komprimointiin perustuvaa haihdutuslaitosta. Tällöin sähköenergiaa kuluu 25 - 30 kWh/t haihdutettavaa vettä riippuen siitä, millainen koostumus jäännösliuoksella on ja mihin kuiva-ainepitoisuuteen halutaan päästä.

Kaasunpoistosta tulevat kaasut sisältävät pääosin hiilidioksidia, mutta myös pieniä pitoisuuksia ammoniakia, metaania ja typpeä. Haihduttamossa syntyvät kaasut johdetaan laitoksen kaasujen käsittelyjärjestelmään. Haihduttamo tulee pestä säännöllisesti laimealla lipeäliuoksella, jota voidaan käyttää useita kertoja. Käytetty pesuneste voidaan sijoittaa konsentraattisäiliöön, jonka sisältö on lievästi hapan.

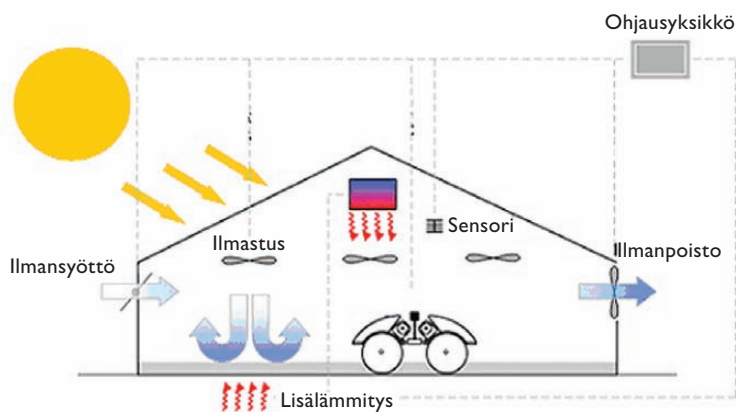
## 16.5

### Käsittelyjäännöksen aurinkokuivaus

Aurinkokuivausmenetelmä käyttää hyväkseen aurinkoenergiaa ja tarvittaessa bio-kaasuprosessissa syntyvää hukkalämpöä. Erityisesti sitä suositellaan lantaa käsitteleville biokaasulaitoksille. Laitos käyttää panosprosessia tai puolijatkuvaa prosessia eikä se ole riippuvainen sääoloista tai käsittelyjäännöksen koostumuksesta. Lisälämmön tarve ei ole jatkuva. Lämmönsaannin keskeytymisestä ei aiheudu ongelmia vaan käsittelyaika ainoastaan pitenee.

Käsittelyjäännös pumpataan kuivaushuoneen lattialle automaattisesti ja sekoitetaan tasaiseksi kerrokseksi kauko-ohjatun levittäjän avulla. Levittäjä myös jatkaa kuivattavan jakeen sekoittamista prosessin aikana. Laitoksen oma valvontajärjestelmä mittaa ja säätää automaattisesti kuivaustilan olosuhteita.

Kun massa on kuivattu, tila tuuletetaan ja massa poistetaan esimerkiksi kauha-kuormaajalla. Laitoksella päästään aina haluttuun kuiva-ainepitoisuuteen ja tulos on tasainen kaikissa osissa tilaa. Automaation ansiosta ainoa työvaihe on kuivatun käsittelyjäännöksen poistaminen. Laitoksen huolto- ja energiakulut ovat pieniä. Menetelmä ei ole toistaiseksi käytössä Suomessa yhdelläkään laitoksella.



Kuva 28. Periaatekaavio käsittelyjäännöksen aurinkokuivausmenetelmästä.<sup>43</sup>

## 16.6

### Lietteen poltto

Kuivattu liete voidaan loppukäsittelynä myös polttaa. Poltto on perusteltu vaihtoehto silloin, kun jätteen synnyn ehkäisemiseen tai materiaalisäilyksen hyödyntämiseen ei ole mahdollisuuksia. Mikäli käsiteltävän syötteen loppuratkaisuna on lietteen poltto, ei biokaasuprosessi ole välttämättä tarkoituksenmukainen välikäsittelymuoto, ellei energiaa välttämättä haluta tuottaa kaasumaisessa muodossa. Lietettä voidaan polttaa rumpu-uunissa, leijukerroskattilassa, soodakattilassa, massapolttolaitoksessa, arinakattilassa tai kaasuttaa joko sekoitettuna pääpolttoaineeseen tai yksinään. Eri-laiset laitokset asettavat erilaisia vaatimuksia polttoaineen kuiva-ainepitoisuudelle ja laadulle.

Lietteen korkea tuhkapitoisuus ja kosteus asettavat tiettyjä rajoituksia lietteiden käytölle, operointioloille ja savukaasunpuhdistukselle. Näistä tekijöistä riippuu myös lietteen tehollinen lämpöarvo. Käsittelyjäännöksen tuhkapitoisuus on lähes 50 % kuiva-aineesta ja käsittelemättömän lietteen tuhkapitoisuus on 10 - 20 % kuiva-aineesta. Termisellä kuivauksella (ka >90 %) saadaan raakalietteen lämpöarvoksi yli 12 MJ/kg. Lietteiden kosteus on usein 65 - 70 % (lämpöarvo saapumistilassa 0 - 3 MJ/kg), jolloin sen energiataloudellinen merkitys on nolla tai negatiivinen. Yleensä poltto vaatii vähintään 30 - 50 %:n kuiva-ainepitoisuuden.

## 16.7

### Ammoniakin strippaus

Rejektiveden liuennut ammoniakki saadaan poistettua rejektivedestä nostamalla rejektiveden pH:ta lipeän avulla, jolloin ammoniakki strippautuu ilmaan. Kaasumainen ammoniakki on pestävä pesuliuoksella joko ammoniumvedeksi tai happoliuoksella ammoniumsuolaksi (ammoniumnitraatti tai ammoniumsulfaatti). Prosessi on tyypillisiä teknisen kemian prosesseja ja vaatii laitteistolta mm. hyvää korroosiokestävyyttä. Ammoniumvedelle tai ammoniumsuolaliuokselle on olemassa käyttökohteita muissa kemian prosesseissa tai lannoitevalmisteenä.

## 17 Yhteenveto

Energian tuotanto biomassasta sekä jätteiden käsittely yhdistettynä biokaasun tuotantoon ovat viime aikoina herättäneet erityisen paljon kiinnostusta. Biokaasua on tuotettu Suomessa jo kymmeniä vuosia jätevedenpuhdistuslaitosten yhteydessä, mutta biokaasulaitoksia on ryhdytty rakentamaan myös muiden orgaanisten syötteiden, kuten esimerkiksi lannan ja erilliskerätyn biojätteen käsittelyyn. Biokaasulaitoksella uusiutuvista, biologisesti hajoavista orgaanisista aineista tuotetaan anaerobisissa olosuhteissa metaanipitoista biokaasua. Kasvihuonekaasupäästöt vähenevät, kun orgaanisista jätteistä muutoin mahdollisesti hallitsemattomasti vapautuva metaani saadaan talteen ja hyödynnettäväksi sähkön ja/tai lämmön tuotannossa tai tulevaisuudessa ehkä enenevässä määrin myös liikennepolttoaineena.

Biokaasulaitoksilla on monia ympäristöhyötyjä, mutta laitosten toiminnasta voi aiheutua myös päästöjä ympäristöön. Suomen ympäristökeskus käynnisti biokaasun tuotannon paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT, best available techniques) –hankkeen edistääkseen BAT-tietojen vaihtoa biokaasulaitosten rakentajien, suunnittelijoiden, käyttäjien sekä laitosten toimintaa valvovien ja luvittavien viranomaisten välillä. Hanketta ovat rahoittaneet maa- ja metsätalousministeriö, työ- ja elinkeinoministeriö sekä ympäristöministeriö. Hanke on teetetty konsulttityönä ja työtä on ohjannut laaja eri tahojen asiantuntijoista koostunut ohjausryhmä.

BAT-hankkeessa on otettu huomioon biokaasulaitoksen ympäristönäkökohdat ja pyritty määrittelemään biokaasulaitoksille parhaat käytettävissä olevat tekniikat ja menetelmät ympäristöasioiden hallitsemiseksi sekä päästöjen vähentämiseksi. Biokaasutuotannon BAT-selvityksessä on tarkasteltu erityisesti suomalaisissa biokaasulaitoksissa käytössä olevia tekniikoita ja laitosten ympäristönäkökohtia. Näin ollen selvityksessä esitetyt tiedot koskevat pääosin ns. märkäprosessilla toimivia biokaasulaitoksia, joskin raportissa on lyhyesti käsitelty myös muualla Euroopassa käytössä olevaa kuivamädätystekniikkaa. Lisäksi on tehty lyhyt katsaus ulkomailla ja tulevaisuudessa myös Suomessa mahdollisesti käytettäviin tekniikoihin. Selvityksen sisältö ja rakenne ovat yhteneväiset Suomessa aiemmin eri toimialoille laadittujen kansallisten BAT-selvitysten kanssa.

Suurin osa biokaasusta syntyy Suomessa toistaiseksi vielä kaatopaikoilla, mutta tulevaisuudessa reaktorilaitosten osuus biokaasun tuotannossa kasvaa. Kaatopaikkakaasujen talteenotto ja hyödyntäminen on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle. Raportin alussa on esitetty toiminnassa sekä suunnitteilla olevat biokaasulaitokset Suomessa (vuoden 2008 tilanne). Selvityksessä biokaasulaitokset on jaettu kolmeen eri laitostyyppiin, joita ovat maatilakokoluokan laitos, jätevedenpuhdistamon yhteydessä toimiva biokaasulaitos sekä yhteiskäsittelylaitos. Maatilalaitoksilla käsitellään maatalouden lietteenä ja peltobiomassaa. Jätevedenpuhdistamojen yhteydessä toimivilla laitoksilla käsitellään pääasiassa jätevesilietettä, mutta myös esimerkiksi teollisuuden jätevesiä ja sakokaivolietettä. Yhteiskäsittelylaitoksilla tarkoitetaan

biokaasulaitoksia, jotka käsittelevät useita erityyppisiä syötteitä, kuten esimerkiksi erilliskerättyä biojätettä ja teollisuuden jätteitä.

Ennen varsinaisia tekniikka- ja menetelmäkuvausraportissa on käsitelty lyhyesti biokaasulaitoksen toimintaan vaikuttavaa lainsäädäntöä ja asetuksia, erityisesti ympäristönsuojelu- ja lannoitevalmistelainsäädäntöä. Lisäksi on kuvattu tyypillisimmät syötteet ja niiden esikäsittely sekä tarkasteltu biokaasuprosessin hallintaa ja prosessin toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Biokaasuprosessin tasaisen ja hyvän toiminnan varmistamiseksi muun muassa orgaanisen kuormituksen, syötteiden viipymän sekä prosessin lämpötilan hallinta ovat avainasemassa. Kaikille biokaasulaitostyypeille yhteisten asioiden lisäksi on esitetty kolmelle eri laitostyypille ominaisia tekijöitä. Lisäksi laitosten eroavaisuudet tulevat esille raportin liitteiden teknisissä laitoskuvauksissa. Esimerkkien avulla on mahdollista muodostaa käsitys tyypillisistä toimintatavoista erilaisilla laitoksilla.

Biokaasulaitoksilla parhaiden käytettävissä olevien tekniikoiden (BAT) valintaan vaikuttavat laitoksen sijainti, laitoksella käytettävät syötteet, muodostuvien hajukaasujen laatu ja määrä, muodostuvien käsiteltävien reaktivesien laatu ja määrä sekä käsittelyjäännöksen hyödyntämismahdollisuudet esimerkiksi lannoitevalmisteenä. Laitoksen sijaintipaikkaa valittaessa tulee ottaa huomioon käsiteltävien syötteiden ja käsittelyjäännösten kuljetusmatkat, biokaasun hyödyntämismahdollisuudet, toiminnassa mahdollisesti muodostuvien jätevesien käsittelykapasiteetti sekä lähialueen asutus ja muu toiminta, joille biokaasulaitoksen toiminnasta voi aiheutua hajuhaittaa. Laitospaikkaa valittaessa on suositeltavaa varmistaa energian kysyntä pitkäaikaisin sopimuksin.

Biokaasulaitos suunnitellaan ja mitoitetaan siten, että muodostuva biokaasu voidaan hyödyntää lämmön ja /tai sähkön tuotannossa tai liikennepolttoaineena. Soihtu tai muu vararatkaisu on olemassa sen varalta, että ensisijainen biokaasun hyödyntämislaitteisto rikkoontuu eikä biokaasua voida hyödyntää energiantuotannossa. Biokaasulaitoksen oma energiankulutus koostuu biokaasuprosessin yksikköoperaatioiden ja tuotantorakennusten sähkön ja lämmön kulutuksesta. Tavoitteena on suunnitella biokaasulaitos siten, että laitos voi toimittaa ylijäämäenergiaa laitoksen ulkopuolelle. Biokaasulaitoskokonaisuus ja sen yksikköoperaatioiden määrä vaikuttavat kuitenkin laitoksen energiataseeseen merkittävästi eikä tavoitteeseen aina päästä.

Biokaasulaitoksessa käsiteltävät syötteet ja syöteseokset vaikuttavat soveltuvan prosessin valintaan. Valittu prosessi ja syötteiden laatu vaikuttavat ratkaisevasti myös siihen, millaisia reaktivesien ja hajukaasujen käsittelyjä mahdollisesti tarvitaan. Laitoksen suunnittelussa ennakoimattomien syötteiden käsittely voi aiheuttaa ongelmia laitoksen toimivuudelle, turvallisuudelle ja lopputuotteen hyödyntämiselle sekä aiheuttaa poikkeuksellisia päästöjä ympäristöön. Uusien syötteiden vaikutukset biokaasun tuottoon, muihin prosessiparametreihin ja käsittelyjäännöksen laatuun arvioidaan aina tapauskohtaisesti. Laitoksen esikäsittelytekniikat valitaan ja suunnitellaan käytettävän syöteseoksen ja prosessin vaatimusten perusteella ja syötteiden varastointiaika mitoitetaan siten, ettei orgaanisen aineen hajoaminen ala ennen syöttämistä reaktoriin. Jos hygienisointia tai sterilointia vaativat syötteet sekoitetaan muihin syötteisiin ennen esikäsittelyä, koko syöteseos on käsiteltävä vaativimman jakeen mukaan.

Ensisijaisesti tulisi pyrkiä tuotteistamaan mahdollisimman suuri osa käsittelyjäännöksestä ja näin vähentää jätteenä loppusijoitettavan materiaalin määrää ja käsiteltävien jätevesien kuormaa. Jos laitoksen toiminnassa muodostuu laitokselta pois johdettavia jätevesiä, joita ei voida johtaa vesihuoltolaitoksen viemäriin sellaisenaan, jätevedet käsitellään biokaasulaitoksella. Reaktivesien käsittelytekniikoina voidaan käyttää selkeytystä, flotaatiota, biologista nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessia muunneltuneeseen, kemiallista fosforin poistoa ja jälkikäsittelynä hiekkasuodatusta ja kal-

vosuodatustekniikoita. Biokaasulaitoksen toiminnasta muodostuvat hajukaasut on tarvittaessa käsiteltävä, jotta ne eivät aiheuta haittaa lähialueen asutukselle. Hajukaasujen käsittelytekniikoina voidaan käyttää biologisia suodattimia ja kemiallisia pesureita.

Parhaan käytettävissä olevan tekniikan käsite on laaja ja se kattaa myös laitteiden oikean käytön ja huollon, laitoksen suunnittelun sekä toiminnan tarkkailun. Biokaasulaitoksen toimintaa voidaan tarkkailla etukäteen laadittujen ajosuunnitelman sekä seurantapäiväkirjan avulla. Lisäksi varaudutaan mahdollisiin häiriötilanteisiin ja ongelmiin laatimalla toimintasuunnitelmat niiden varalle. Ajosuunnitelma kattaa myös mahdolliset päästöjen käsittelyt. Tekniikoiden, menetelmien ja toimintaohjeiden lisäksi laitoksilla tarvitaan osaavaa henkilökuntaa.

Raportissa on keskitytty kuvaamaan sitä, miten olemassa olevat biokaasulaitokset Suomessa on tyypillisesti toteutettu ja miten laitoksilla toimitaan ympäristön kannalta tärkeissä asioissa. Selvityksessä esitetyn tiedon perusteella ei ole mahdollista esittää eri tekniikoiden käyttöön liittyviä päästö- tai kulutustasoja tai tehdä eri tekniikoiden välistä vertailua. Biokaasulaitokset muodostavat oman kokonaisuutensa ja laitokselle valittavan tekniikan kelpoisuus on aina arvioitava tapauskohtaisesti.



## LÄHDELUETTELO

- [1] Kuittinen, V., Huttunen, M. & Leinonen, S. 2007. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 10. Joensuun yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutti, Joensuu. Ekologian tutkimusinstituutin raportteja N:o 3. ISBN 978-952-219-077-2. Ladattavissa osoitteessa: [http://joypub.joensuu.fi/publications/other\\_publications/kuittinen\\_biokaasulaitosrekisteri/kuittinen.pdf](http://joypub.joensuu.fi/publications/other_publications/kuittinen_biokaasulaitosrekisteri/kuittinen.pdf).
- [2] Ympäristönsuojelulaki. Suomen säädöskokoelma 86/2000.
- [3] Ympäristönsuojeluasetus. Suomen säädöskokoelma 169/2000.
- [4] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1774/2002, annettu 3 lokakuuta 2002, muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä valmistettavien sivutuotteiden terveyssäännöistä. EYVL L 273, 10.10.2002. S. 1–95. Ladattavissa osoitteessa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=20809&lan=FI>.
- [5] Taavitsainen, T. 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. MaLa2-hankkeen loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulu, Kuopio. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 5/2006. 119 s. ISBN: 952-203-040-6 (nid.).
- [6] Lehtomäki, A. & Rintala, J. 2006. Biokaasun mahdollisuudet ja tuotannon potentiaali Suomen maataloudessa. PTT-katsaus 2/2006. S. 29–35.
- [7] Paavola, T. Yhdyskuntien jätevesilietteiden anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö. Seminaariesitys 21.3.2007. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=65038&lan=fi>. [Viitattu 21.8.2008. Muokannut Bionova Engineering.]
- [8] Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. 91 s. ISBN 951-39-2559-5 (PDF). [Muokannut Bionova Engineering.] Ladattavissa osoitteessa: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-39-2559-5>.
- [9] Köttner, M. 2008. IBBK. Sähköpostitiedonanto 11.11.2008 M. Köttneriltä (IBBK) J. Korteniemelle (Bionova Engineering).
- [10] Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. 64 s. ISBN 978-951-39-3076-9.
- [11] Taavitsainen, T., Kapuinen, P. & Survo, K. 2002. Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus. MaLLa -hankkeen loppuraportti. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu. 139 s. Ladattavissa osoitteessa: <http://kokoeko.savonia-amk.fi/MaLLa%20-hankkeen%20loppuraportti.pdf>.
- [12] Latvala, M. & Korteniemi, J. Bionova Engineering. 2006. Perunan sivutuotteiden biokaasupotentiaali.
- [13] Hänninen, K. & Leinonen, S. 1996. Biometanointi. Joensuun yliopisto, Joensuu. Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita n:o 1/1996. 51 s. ISBN 951-708-413-7 (nid.).
- [14] Vinkki, P. 2009. Metaenergia Oy. Suullinen tiedonanto 28.01.2009.
- [15] Latvala, M. & Pasanen, P. Bionova Engineering. 2005. Vesilaitosten biokaasun liikennekäyttö.
- [16] Latvala, M. & Korteniemi, J. Bionova Engineering. 2006. Biokaasuntuotanto maakaasuverkkoon.
- [17] Rintala, J. & Rasi, S. 2007. Biokaasun tuotantoketjusta erotetun hiilidioksidin käyttökohteet ja puhdistusmenetelmät. Kirjallisuuskatsaus. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.
- [18] Pekkarinen, M. Työvoima- ja elinkeinoministeriö. Seminaariesitys Pohjois-Pohjanmaan energiatoimiston avajaisissa Muhoksella 7.10.2008.
- [19] Maakaasukäsikirja. 2004. Maakaasuyhdistys ry. 112 s. <http://www.maakaasu.fi/> > Maakaasukäsikirja. [Viitattu 4.12.2008.]
- [20] Persson M. 2003. Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas. SGC Rapport 142.
- [21] Wellinger, A. & Lindberg, A. 2001. Biogas upgrading and utilisation. IEA Bioenergy, Task 24: Energy from biological conversion of organic waste. 20 s. [Muokannut Bionova Engineering.] Ladattavissa osoitteessa: <http://www.iea-biogas.net/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf>.
- [22] Lannoitevalmistelaki. Suomen säädöskokoelma 539/2006.
- [23] Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT:n tiedotteita 2081. ISBN 951-38-5795-6.
- [24] Oy Stormossen Ab. Vattenprov från processvattenreningsverket. DO27-A3. Stormossenin biokaasulaitoksen prosessivesien puhdistamon tarkkailuarvot. Saatua laitokselta 28.10.2008. [Muokannut Bionova Engineering.]
- [25] Hyvärinen, P. 2009. YIT Environment. Sähköpostitiedonanto 4.3.2009. [Muokannut Bionova Engineering.]
- [26] SFS-EN 13725. 2003. Air quality. Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki. ISBN 6418616169938.
- [27] Arnold, M. 2002. Eläinsuojien hajuhaitat – Ohjeistusmallit, arviointi ja vähentäminen sekä käytäntö eri maissa. Susies-loppuraportti 15.3.2002. Länsi-Suomen ympäristökeskus, Vaasa. Alueelliset ympäristöjulkaisut 264. 88 s. ISBN 952-11-1143-7.
- [28] Rasila, T. & Pietarila, H. 2003. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. Hajupäästöjen leviämisselvitys. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.
- [29] Makkonen, T. 2008. Biovakka Oy:n biokaasulaitoksen hajujen leviämisselvitys hajupaneelin avulla. Turun yliopisto, Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus, Turku. Turun yliopiston merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisuja B 156. 42 s. ISBN 978-951-29-3600-7.
- [30] Richter, D. 2009. BD Agro Renewables. Suullinen tiedonanto 2.2.2009.

- [31] Läntelä, J. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, ympäristötieteen osasto. Biovak-  
ka Suomi Oy, Hajuyksikkömääritykset 10.12.2008 ja 5.2.2009 sekä pelkistyneiden rikkiyhdisteiden  
määritys 10.12.2008 ja 5.2.2009. [Muokannut Bionova Engineering.]
- [32] Eder B. & Schulz, H. 2007. Biogas Praxis. 4. painos. Ökobuch Verlag, Freiburg. 238 s. ISBN 3-936896-  
13-5.
- [33] Kymen BioEnergia Oy:n ympäristölupa. 2008. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. Nro A1049.  
Dnro KAS-2007-Y-228-111. Annettu julkipanon jälkeen 29.5.2008.
- [34] Streams – Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa 2001–2004. Loppuraportti. 2005. Tekes, Helsin-  
ki. ISBN 952-457-194-3.
- [35] Työturvallisuuslaki. Suomen säädöskokoelma 738/2002.
- [36] HTP-arvot 2007. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2007. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.  
Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2007:4.
- [37] Kettunen, V. 2008. Kemira Oy. Sähköpostitiedonanto 16.12.2008. [Kettuselta saatu kuvaus Kemi-  
cond-menetelmästä.]
- [38] Ultraääni tehostaa lietteen hajoamista -esite. UltraSonus Ab. [http://www.ultrasonus.se/images/  
Folder\\_Sludge-Ultrasound\\_Finish.pdf](http://www.ultrasonus.se/images/Folder_Sludge-Ultrasound_Finish.pdf). [Viitattu 11.3.2009.]
- [39] Kyllönen, H. & Grönroos, A. VTT. Lietteen käsittelyn parantaminen ultraäänellä. Luentomateriaali,  
Valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 11.–12.11.2008.
- [40] Forsell, B. 2008. Insalko Oy. Sähköpostitiedonanto 27.8.2008. [Forsellilta saatu kuvaus IPUS Meth-  
max -tuotteesta.]
- [41] Nybergh, O. 2008. Oy Lux Ab. Sähköpostitiedonanto 4.1.2008. [Nyberghiltä saatu kuvaus Ikozor-  
b ZG -tuotteesta.]
- [42] Högström, C. 2008. Aquasystems Oy. Sähköpostitiedonanto 27.11.2008. [Högströmiltä saatu kuvaus  
vedenhaidutustekniikasta.]
- [43] Thermo-System Industrie- & Trocknungstechnik GmbH. <http://www.solartrocknung.com/> [Viitat-  
tu 29.1.2009. Muokannut Bionova Engineering.]



## SANASTO JA TERMIT

Alkaliteetti	Alkaliteetti mittaa vedessä olevien heikkojen emästen määrää ja siis veden puskurointikykyä happolisäyksiä vastaan. Biokaasuprosessin ylikuormitus näkyy ensin alkaliteetin laskuna ja vasta sen jälkeen pH-arvoissa.
Ammoniumtyppi	Epäorgaanissa muodossa oleva typpi ( $\text{NH}_4^+$ )
Anaerobinen	Hapeton
BAT	Best available techniques. Paras käyttökelpoinen tekniikka
Biokaasu	Biokaasulaitoksessa orgaanisen aineen anaerobisessa käsitte-lyssä (mädätys) muodostuva kaasu, jonka pääkomponentit ovat metaani ja hiilidioksidi.
Biomassa	Biokaasulaitoksessa käsiteltävä syöte
BOD	Biological oxygen demand ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ), biologinen hapen- kulutus
$\text{CH}_4$	Metaani
$\text{CO}_2$	Hiilidioksidi
COD	Chemical oxygen demand ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ), kemiallinen hapen- kulutus
Hydrolyysi	Kemiallinen reaktio, jossa yhdiste hajoaa reagoidessaan veden ionien kanssa. Anaerobisen hajoamisen ensimmäinen vaihe, joka tapahtuu bakteerien muodostamien entsyymien avulla.
Hygienisointi	Lämpökäsittely haitallisten bakteerien tuhoamiseksi.
Inhibiittori	Estäjä
Konsentraatio	Pitoisuus
Kuivaprosessi	Kuiva-ainepitoisuudeltaan korkeiden ( $\text{TS} > 15\%$ ) jakeiden käsittelyprosessi
Käsittelyjäännös	Biokaasulaitoksessa käsitelty materiaali
LCFA	Long chain fatty acids, pitkäketjuiset rasvahapot
Ligniini	Sitoo puukuituja. Selluloosan jälkeen puun tärkein ainesosa.
Lipidi	Rasva-aine
$\text{m}^3$	Kuutiometri
Mekaaninen kuivaus	Käsittelyjäännöksen kuivaus, joka tapahtuu mekaanisesti noin 20 - 35 % kuiva-ainepitoisuuteen
Mikroturbiini	Kaasuturbiiniperiaatteella toimiva biokaasun CHP-hyödyn- tämislaitteisto. Kooltaan tyypillisesti 30 - 200 kWe. Voidaan sijoittaa useita rinnakkain.
Märkäprosessi	Kuiva-ainepitoisuudeltaan matalien ( $\text{TS} < 15\%$ ) jakeiden käsittelyprosessi
$\text{OU}/\text{m}^3$	Odour Unit, hajuyksikköä per kuutiometri ( $\text{HY}/\text{m}^3$ )
Perkolaationeste	Kuivaprosessin aikana syötteestä irtoava ravinnepitoinen vesi
ppm	Parts per million, yksi miljoonasosa
Rakeistus	Termisen kuivauksen yhteydessä tapahtuva lietteen kuiva- aaineen tuotteistaminen joko lannoite tai energiakäyttöön
Reduktio	Vähennemä
Rejektivesi	Käsittelyjäännöksen kuivauksen seurauksena syntyvä nes- temäinen jae
Syöte	Biokaasulaitoksessa käsiteltävä materiaali
Syöteseos	Eri syötteistä sopivassa suhteessa sekoitettu seos, joka käsi- tellään biokaasulaitoksessa

Syöttötariffi	Biokaasulla tuotetulle sähkölle maksettava, markkinahintaa korkeampi takuuhinta
Terminen kuivaus	Käsittelyjäännöksen kuivaus korkeassa lämpötilassa, mekaanisen kuivauksen jälkeen, ja jolla päästään noin 90 % kuiva-ainepitoisuuteen
TS	Total solids, kuiva-aine
TSE-tauti	Tarttuva spongiforminen enkefalopatia, esimerkiksi BSE-, eli "hullun lehmän tauti" tai Scrapie
VFA	Volatile fatty acids, vapaat haihtuvat rasvahapot, esimerkiksi propionaatti, butyraatti
VS	Volatile solids, orgaaninen kuiva-aine, hehkutushäviö
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely
Wobbe-indeksi	Wobbe indeksi on kaasun sisältämä energiamäärä (MJ/Nm <sup>3</sup> ), kun lämpötila on + 15 °C ja paine 1 bar eli ilmakehän normaali paine.
Zeoliitti	Nanokokoisia huokosia sisältävä, kiviainesta oleva lisä-ainejauhe, jolla voidaan stabilisoida biokaasulaitoksen prosessia ja nostaa kaasuntuottoa.

## Liite I. Laitoshyväksyntä tuotettaessa lannoitevalmisteita

Orgaanisia lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita valmistavan, teknisesti käsittelevän tai varastoivan toiminnanharjoittajan on oltava Eviran hyväksymä. Laitoshyväksyntä on tuotantolaitoskohtainen ja joissakin tapauksissa tuotantolinjakohtainen. Hyväksyntävaatimus koskee myös tietyissä tapauksissa valmistusta omaan käyttöön. Esimerkiksi tilalla syntyvän, sivutuoteasetuksen mukaiseen luokkaan 3 kuuluvan teurasjätteen käsittely tilalla omaan käyttöön vaatii sivutuoteasetuksen mukaisen hyväksynnän, samoin tilan ulkopuolisten asumisjätevesien käsittelyssä syntyneiden lietteiden, yhdyskuntalietteiden ja ruokajätteiden käsittely.

Laitoshyväksyntä tulee hakea Eviran tähän tarkoitukseen tekemällä lomakkeella. Hakemuksessa tulee yksilöidä hyväksynnän kohteena oleva tuotantolaitos, laitokses- sa käsiteltävät raaka-aineet, valmistettavat lannoitevalmisteet ja niiden käyttökohteet. Hakemukseen tulee liittää yksityiskohtainen kuvaus toiminnasta, laitoksen omavalvontasuunnitelma sekä kopio ympäristölupapäätöksestä.

Hyväksyntä edellyttää, että laitos toiminnaltaan, rakenteiltaan ja varustukseltaan täyttää lannoitevalmistelaisissa 539/2006 ja sen nojalla annetuissa säädöksissä asetetut vaatimukset. Eläimistä saatavia sivutuotteita käsittelevien laitosten on täytettävä myös sivutuoteasetuksen (EY 1774/2002) sekä sitä täydentävien asetusten (EY 208/2006, EY 185/2007) vaatimukset. Hyväksyntä voidaan antaa toistaiseksi voimassaolevana tai määräajaksi.

### Ilmoitus lannoitevalmisteen valmistuksen aloittamisesta

Maa- ja metsätalousministeriön asetusten 12/07 ja 13/07 perusteella ennen lannoitevalmisteen valmistuksen tai markkinoinnin aloittamista on tehtävä ilmoitus elinkeinotoiminnan aloittamisesta Eviralle. Ilmoitukseen on liitettävä kuvaus toiminnan järjestämisestä, valmisteiden tuoteselosteet ja kirjallinen omavalvontasuunnitelma. Myös toiminnan muutoksista ja lopettamisesta on ilmoitettava viipymättä kirjallisesti.

### Omavalvontasuunnitelma

Lannoitevalmistelain (539/2006) 13 § edellyttää, että toiminnanharjoittajan on tunnettava lannoitevalmisteiden laadun kannalta kriittiset toiminta-, valmistus- ja käsittelyvaiheet ja valvottava niitä. Omavalvonnan on oltava sellainen, että se varmistaa tuotteiden vaatimustenmukaisuuden ja käyttöturvallisuuden. Omavalvonnan järjestämisvelvoite koskee lannoitevalmisteen valmistusta, markkinointia ja maahan- tuontia.

Omavalvonnasta on lannoitevalmistelain mukaan laadittava kirjallinen suunnitelma, joka on toimitettava Eviran lannoitevalvonnalle mieluiten toiminnan aloitusilmoituksen liitteenä. Omavalvontasuunnitelman tulee olla muodoltaan ja sisällöltään sellainen, että se soveltuu toimintaohjeeksi omavalvontaohjelman toteuttamisessa. Omavalvonnan toteuttamisesta tulee pitää kirjaa. Kirjanpidon tulee sisältää lannoitevalmisteiden tai niiden raaka-aineiden laadun ja turvallisuuden varmistamiseen ja kriittisiin maahantuonti-, valmistus- ja käsittelyvaiheisiin liittyvät tulokset ja viralliset todistukset sekä asiakirjat poikkeamatilanteista ja niiden korjaamiseksi tehdyistä toimenpiteistä.

Lannoitevalmistelain 14 § mukaisesti hyväksytyn laitoksen on laadittava kalenterivuosittain omavalvontaraportti, josta käy ilmi kriittisten valmistus- ja käsittelyvaiheiden valvonnan tulokset sekä omavalvonnassa havaitut ongelmat ja puutteet sekä se, kuinka ne on ratkaistu. Omavalvontaraportti on toimitettava Eviralle viimeistään seuraavan vuoden maaliskuun loppuun mennessä. Hyväksytyn laitoksen on lisäksi ilmoitettava välittömästi valvovalle viranomaiselle kaikista toiminnan poikkeavuuksista, jotka merkittävästi vaikuttavat lopputuotteen laatuun.

## Liite 2. Case-esimerkit erityyppisten laitosten prosesseista

### Stormossen, Vaasa

Stormossenin laitoksella Vaasassa käsitellään puhdistamolietettä ja erilliskerättyä biojätettä (keittiöjäte). Biojätettä saapuu laitokselle yli 40 000 t/a. Biojätteestä käsitellään noin 8 500 t/a. Noin 3 500 t/a enemmän voitaisiin käsitellä, mutta kapasiteetti ei nykyisellään riitä. Niinpä tämä 3 500 t/a kompostoidaan muoviputkissa. Toiminta on vasta aloitettu eikä kokemuksia ole tästä vielä pitkältä ajalta. Loput 28 000 t (seulottu materiaali, muovit, hiekka ym.) sijoitetaan kaatopaikalle.

Käsitellystä biojätteestä valmistetaan maanparannuskompostia. Käsittelyjäännös kompostoidaan aumoissa noin 5 - 6 vuotta.

Aiemmin laitoksella käsitellystä biojätteestä on valmistettu ”raakakompostia”, joka on laadultaan heikompaa kuin maanparannuskomposti. Tällöin käsittelyjäännöstä kompostoititiin 6 kk kentällä ”Savaterra”-lämmityskäsittelyn jälkeen. Tästä luovuttiin menetelmän hintavuuden vuoksi. Raakakompostia on edelleen aumoissa myytävänä.



Kuva 1. Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kompostointiputkia Stormossenilla.

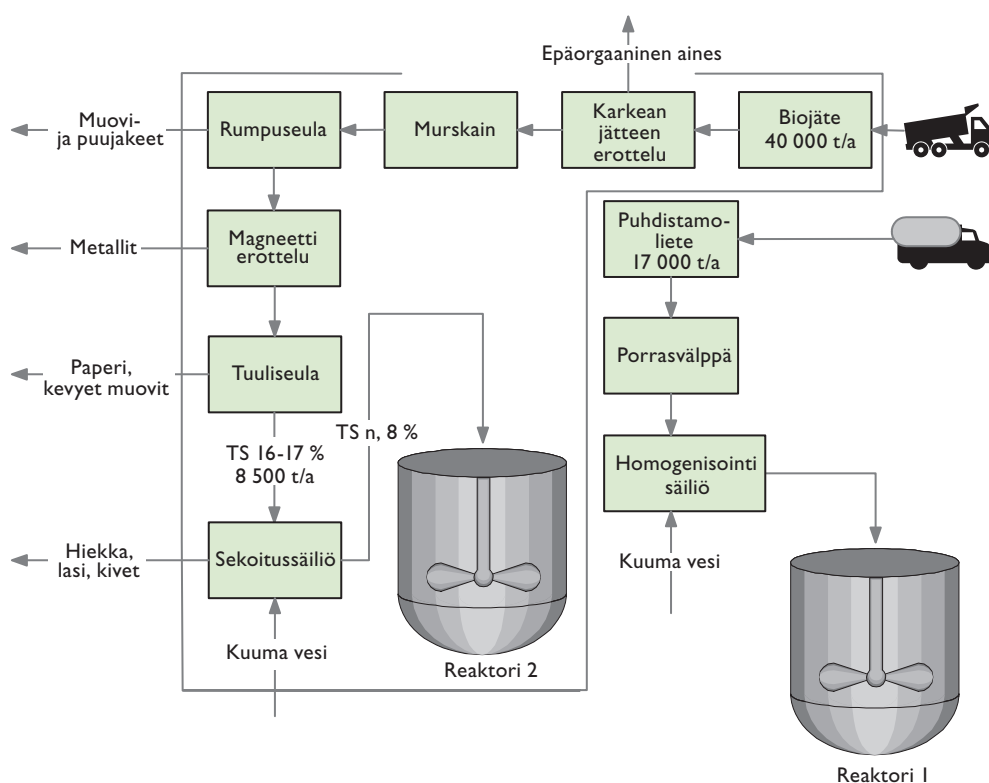
Seuraavassa on esitetty käsittelyjäännöksestä valmistetun tuorekompostin tuoteseloste:

**Stormossenin Tuorekomposti-tuoteseloste:**

Tyyppinimi	Tuorekomposti		
Kauppanimi	Stormossenin Tuorekomposti		
Raaka-aineet ja valmistustapa	Mädätetty ja jälkikompostoitu keittiöjätteestä erotettu biojäte ja puhdistamoliete. Kompostointivaiheessa on lisätty risuhaketta ja turvetta		
Pakkauskoko	Tuote myydään irtotavarana		
pH	7		
Tilavuuspaino (g/l)	722		
Orgaaninen aines	53 %		
Kosteus	67 %		
Johtokyky (mS/m)	109		
Pääravinteet	Kokonaistyyppi (N)	18980 mg/kg ka	4,5 kg/m³
	Vesiliukoinen typpi	1567 mg/kg ka	0,374 kg/m³
	Kokonaisfosfori (P)	20233 mg/kg ka	4,8 kg/m³
	Vesiliukoinen fosfori	23 mg/kg ka	0.0008 kg/m³
	Kokonaiskalium (K)	4077 mg/kg ka	1 kg/m³
Haitalliset metallit	Arseeni (As)	2,5 mg/kg ka	
	Elohopea (Hg)	0,5 mg/kg ka	
	Kadmium (Cd)	0,5 mg/kg ka	
	Kromi (Cr)	37 mg/kg ka	
	Kupari (Cu)	174 mg/kg ka	
	Lyijy (Pb)	13 mg/kg ka	
	Nikkeli (Ni)	15 mg/kg ka	
	Sinkki (Zn)	603 mg/kg ka	
Karkeusaste	Ei seulottu, 0 - 50 mm		
Tuote sisältää tuulilevitteisiä rikkakasvinsiemeniä.			
Käyttötarkoitus	Tuorekomposti soveltuu käytettäväksi maanparannusaineena mm. vilja- ja energiakasveille sekä maisemointiin ja eroosion estoon.		
Käyttöohje	Sekoitetaan maa-ainekseen. Suositeltava levitysmäärä 10 - 20 m³/ha. Kun maanparannuskompostia käytetään maataloudessa viljelykäytössä, on hehtaarikohtaisesti pidettävä kirjaa kadmiumin kertymisestä (max. 6 g/ha neljän vuoden tasausjakson aikana) sekä siitä, milloin komposti on alueelle levitetty ja milloin eläimet on päästetty alueelle ja/tai milloin alueelle on kylvetty rehukasvit. Lisäksi on huomioitava nitraattidirektiivi ja maatalouden ympäristötukien rajoitukset. Eloperäisiä lannoitteita ja maanparannusaineita/ tuotantoeläimet saa päästää alueelle aikaisintaan 21 päivää tuotteen maahan levittämisen jälkeen.		

**Stormossenin Maanparannuskomposti-tuoteseloste:**

Tyyppinimi	Maanparannuskomposti		
Kauppanimi	Stormossenin Maanparannuskomposti		
Raaka-aineet ja valmistustapa	Mädätetty ja jälkikompostoitettu keittiöjätteestä erotettu biojäte ja puhdistamoliete. Kompostointivaiheessa on lisätty risuhaketta		
Pakkauskoko	Tuote myydään irtotavarana		
pH	7,5		
Tilavuuspaino (g/l)	754		
Orgaaninen aines	60%		
Kosteus	69 %		
Johtokyky (mS/m)	95		
Pääravinteet	Kokonaistyyppi (N)	20000 mg/kg ka	4,7 kg/m³
	Vesiliukoinen typpi (N)	1030 mg/kg ka	0,24 kg/m³
	Kokonaisfosfori (P)	12720 mg/kg ka	3 kg/m³
	Vesiliukoinen fosfori	9 mg/kg ka	0,0004 kg/m³
	Kokonaiskalium (K)	4500 mg/kg ka	1 kg/m³
Haitalliset metallit	Arseeni (As)	4 mg/kg ka	
	Elohopea (Hg)	0,5 mg/kg ka	
	Kadmium (Cd)	0,5 mg/kg ka	
	Kromi (Cr)	42 mg/kg ka	
	Kupari (Cu)	121 mg/kg ka	
	Lyijy (Pb)	17 mg/kg ka	
	Nikkeli (Ni)	12 mg/kg ka	
	Sinkki (Zn)	454 mg/kg ka	
	Karkeusaste	Ei seulottu, 0 - 50 mm.	
Tuote sisältää tuulilevitteisiä rikkakasvinsiemeniä.			
Käyttötarkoitus	Maanparannuskomposti ja ravinnelisiä kaikille kasveille. Tuote ei sovellu sellaisenaan kasvualustaksi eikä laidunkäyttöön.		
Käyttöohje	Sekoitetaan maa-ainekseen. Suositeltava levitysmäärä 10 - 20 m³/ha. Kun maanparannuskompostia käytetään maataloudessa viljelykäytössä, on hehtaarikohtaisesti pidettävä kirjaa kadmiumin kertymisestä (max. 6 g/ha neljän vuoden tasausjakson aikana) sekä siitä, milloin komposti on alueelle levitetty ja milloin eläimet on päästetty alueelle ja/tai milloin alueelle kylvetty rehukasvit. Lisäksi on huomioitava nitraattidirektiivi ja maatalouden ympäristötukien rajoitukset. Eloperäisiä lannoitteita ja maanparannusaineita/ tuotantoeläimet saa päästää alueelle aikaisintaan 21 päivää tuotteen maahan levittämisen jälkeen.		
Esikäsittely	Reaktori 1 käsittelee pelkästään biojätettä ja reaktori 2 puhdistamolietettä. Tästä johtuen molemmille reaktoreille on erillinen syötteen esikäsittely.		



Kuva 2. Stormossenin esikäsittelymenetelmät biojätteelle ja puhdistamolietteelle.

### Biojäte (Reaktori 1)

Biojäte otetaan vastaan noin 100 m<sup>3</sup> kokoiseen avoimeen varastokuiluun, jonka alla on ruuvikuljetin. Mikäli kuilu täyttyy, sen vieressä on toinen varastohalli, johon jätettä voidaan välivarastoida.

Varastokuilusta biojäte siirtyy murskaimelle kuljettimella. Kuljetin on valvottu ja siltä pystytään poistamaan sinne kuulumaton aines pienellä nosturilla valvomosta käsin. Murskain on hankittu tammikuussa 2008 vanhan repijän tilalle. Murskain on toiminut huomattavasti repijää paremmin ja nopeammin.

Murskaimelta biojäte siirtyy rumpuseulan kautta magneettierotteluun ja siitä tuuliseulaan, jossa poistuvat isommat muovi- ja paperijakeet. Ulos tulevan biojättemassan kuiva-ainepitoisuus on noin 16 - 17%.

Seulonnan jälkeen biojättemassa siirretään sekoitussäiliöön, jossa siihen lisätään kuumaa (60 °C) vettä noin 50 %. Tarkoituksena on paitsi lämmittää massa, laskea sen kuiva-ainepitoisuutta, jotta se on pumpattavissa. Vesi on joko kompostointikentältä pumpattavaa vettä, sadevettä tai vesijohtovettä ja se lämmitetään höyryllä. Höyry tuotetaan kaatopaikkakaasulla.

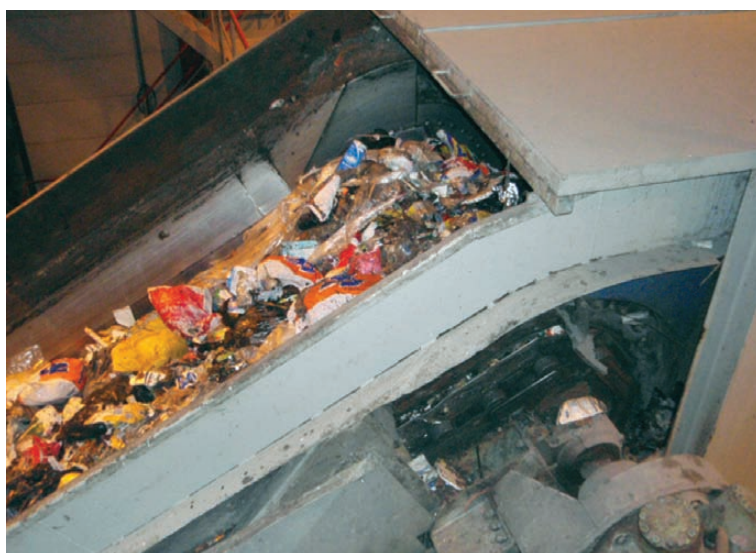
Säiliön pohjalta poistetaan päivittäin soraa, lasia ym. ylimääräistä materiaalia. Sekoitussäiliön jälkeen on vielä suotonauhapuristin, joka erittelee pienet puun- ja muovinpalat, ym. ylimääräisen kevyen aineksen, joka muuten kerääntyy pintaan. Tästä huolimatta reaktorin pinnalla on havaittavissa pinnalla kelluva kerros kevyttä ainesta.

Sekoitussäiliöstä pumpataan päivittäin syötettä reaktori 1:een (1 700 m<sup>3</sup>), joka toimii termofiilisella lämpöalueella (n. 50 - 55 °C). Syötteen viipymä reaktorissa on noin 3 viikkoa. Stormossenilla on teetetty insinööritoja, jonka mukaan viipymää voitaisiin lyhentää. Reaktorissa on kaksi mekaanista sekoitinta sekä alhaalta pumpattavalla biokaasulla tapahtuva kaasukuplasekoitus.





Kuva 3. Biojätteen vastaanotto Stormossenilla.



Kuva 4. Biomassaa kuljettimella siirtymässä murskauksesta rumpuseulaan.



Kuva 5. Tuuliseuloja Stormossenilla.



### Puhdistamoliete (Reaktori 2)

Vuosittain laitoksella käsitellään noin 17 000 tonnia puhdistamolietettä, jota kuivataan jätevedenpuhdistamolla ennen kuin se kuljetetaan tankkiautoilla Stormossenille. Myös putkisiirtoratkaisua selvitetään parhaillaan.

Vesi pumpataan autoista porrasvälpän kautta homogenisointisäiliöön, jossa siihen lisätään taas vettä. Tämän jälkeen vesi siirtyy lämmönvaihtimen kautta Reaktoriin 2 (kerran päivässä). Syötteen viipymä on noin 2 viikkoa ja se toimii termofiilisella lämpötila-alueella (50 - 55 °C). Reaktorin pohjalta poistetaan säännöllisesti ylimääräistä ainesta. Reaktori 2:ssa on pelkästään kaasukuplasekoitus, eikä lainkaan mekaanista.



Kuva 6. Puhdistamolietteen purkua Stormossenin laitokselle.

### Biokaasu

Vuosittain reaktoreissa tuotetaan biokaasua yhteensä noin 2 000 000 m<sup>3</sup>. Biokaasu sisältää metaania noin 65 % ja sillä tuotetaan sähköä ja lämpöä CHP-moottorissa (330 kWe). Laitokselle on tulossa uusi moottori (600 kWe), joka korvaa vanhan. Vuonna 2007 biokaasulla tuotettiin noin 35 % koko jätekeskuksen sähkönkulutuksesta.

### Hajunkäsittely

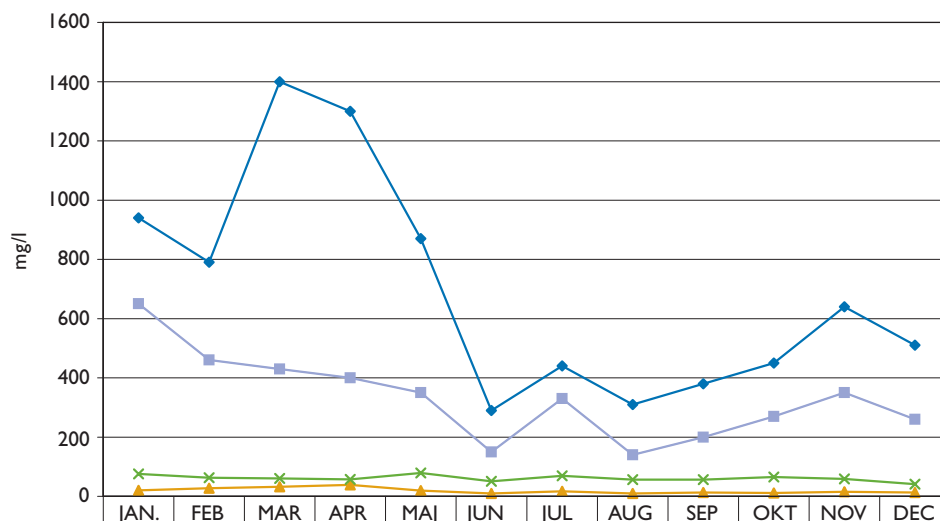
Hajupäästöt käsitellään Vapon toimittamassa biosuodattimessa, joka sisältää turvetta. Turvetta ei vaihdeta kovin usein (harvemmin kuin kerran vuodessa). Hajunkäsittelyn mitoituservoja tai tietoja kohdeilmanpoistosta ei ollut tiedossa. Laitoksella ei ole tehty ilman laadun mittauksia ennen eikä jälkeen käsittelyn. Lähellä ei ole asutusta eikä ympäristöluvassa ole edellytetty hajujen pitoisuusmittauksia.

### Vedenkäsittely

Molempien reaktoreiden jälkeen käsittelyjäännökseen lisätään polymeeriä ja se syötetään lingoille veden poistamiseksi. Käsittelyjäännöksen kuiva-ainepitoisuus on tämän jälkeen noin 25 - 30 %. Kuivauksen jälkeen massaan sekoitetaan risuhaketta (noin puolet ja puolet) ja massa siirretään kompostointikentälle aumoihin. Kuivauksesta syntyvä vesi pumpataan puhdistamolle. Alueella on lisäksi toinen erillinen puhdistamo, jossa käsitellään vain kaatopaikan suotovesiä.

# Utgående avloppsvatten Lähtevä jätevesi

JVPI 2007



Fast substans mg/l (Mål/Tavoite 450 mg/l)(VFM's mål 300 mg/l)	940	790	1400	130	87	29	440	310	380	450	640	510
BOD <sub>5</sub> mg/l (Mål/Tavoite - 330 mg/l)(VFM's mål 300 mg/l)	650	460	430	400	350	150	330	140	200	270	350	260
Fosfor P mg/l (Mål/Tavoite 15 mg/l)(VFM's mål 10 mg/l)	20	27	32	39	19	10	17	9,7	13	11	15	13
Ammoniumkväve NH <sub>4</sub> -N mg/l (Mål/ Tavoite - 65 mg/l) (VFM's mål 50 mg/l)	76	63	60	57	79	51	69	56	56	65	59	41

Kuva 7. Stormossenin biokaasulaitoksen jätevedenpuhdistamon lähtevän jäteveden arvoja.



Kuva 8. Aumakompostointia Stormossenilla.



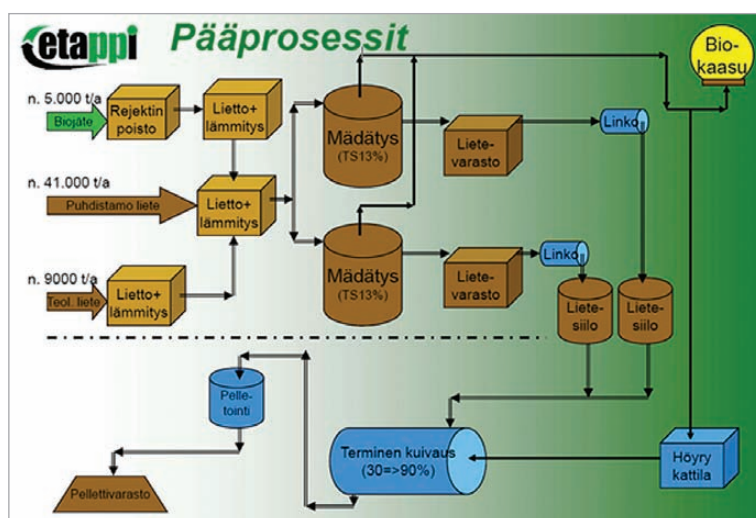
Kuva 9. Jätevedenkäsittelylaitos ja biokaasuvarasto (l 030 m³).

## Lakeuden Etappi, Ilmajoki

Lakeuden Etappi toimii Ilmajoella ja käsittelee biokaasulaitoksessaan vuosittain noin 40 000 tonnia erilaisia lietteitä. Laitoksen operoinnista vastaa toistaiseksi sen toimitaja. Luovutus on viivästynyt, koska jätevedenkäsittelyssä ei ole päästy tavoitearvoihin. Käsittelyjäännöksestä saatu rejektivesi on erittäin vaikea puhdistettava, koska laitoksella käsitellään useita erilaisia lietteitä. Tämän kaltaisista prosesseista on hyvin vähän aiempia kokemuksia.

Taulukko 1. Lakeuden Etapin biokaasulaitoksen syötte.

Syöte	Määrä t/a	Kuiva-aine %
Puhdistamoliete	33 000	12-27 %
Biojäte	2 250	25 %
Elintarviketeollisuuden biojäte	2 250	25 %
Rasvakaivojäte	2 000	20 %



Kuva 10. Lakeuden etapin biokaasulaitoksen prosessit.

### Esikäsittely

Biojäte saapuu laitokselle vastaanottohalliin, josta se syötetään kauhakuormaajalla repijään. Repijästä syöte kulkee kuljettimella rumpuerottimeen ja sieltä metallin-erottimen kautta liettämissäiliöön. Liettämissäiliöstä vesijäteseos ohjataan ruuvipuristimeen, jossa biojäte puristetaan 10 mm kokoisen matriisin läpi. Esikäsittelyn jälkeen biojäte syötetään omaan välivarastosäiliöön (150 m<sup>3</sup>), josta sitä annostellaan yhdyskuntalietesäiliöön. Pelletoinnin vuoksi biojäte on hyvä saattaa pienempään palakokoon jo prosessin alkuvaiheessa. Ruuvipuristimeen tarttuu muovijakeita ja se täytyy puhdistaa säännöllisesti.

Biojätteen vastaanotossa on huomioitava se, että tiedetään mitä voidaan ottaa vastaan, ja mitä tuleva jäte sisältää. Laitokselle on esimerkiksi saapunut kivimursketta sisältänyt tärkkelyserä, joka aiheutti ongelmia. Yhdessä erässä biojätettä on ollut lisäksi lattialaattoja, jotka ilmeisesti erehdyksessä olivat päätyneet väärään jätetastiaan.



Kuva 11. Biojätteen syöttö kauhakuormaajalla.

### Prosessi

Puhdistamoliete, rasvakaivoliete, ja puhdistettu biojäte syötetään < 12 mm partikkelikoossa liettämissäiliöihin, jossa syöteseokseen lisätään vettä. Näin saavutetaan 13 % kuiva-ainepitoisuus syöteseokselle. Syöte lämmitetään liettämisaaltaissa 39 °C lämpötilaan ja syötetään reaktoreihin (2 x 3 200 m<sup>3</sup>). Viipymä oli vierailuhetkellä noin 45 vrk johtuen laitoksen tämänhetkisestä kapasiteetista. Mitoitusviipymä on noin 25 vrk.

Reaktorista palaavalle lietteelle (ka. 6 %) tehdään ilmastrippaus, jonka jälkeen se kuivataan lingoilla noin 30 % kuiva-ainepitoisuuteen. Tämän jälkeen suoritetaan terminen kuivaus noin 103 °C lämpötilassa, jossa päästään noin 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Terminen kuivaus toimii samalla hygienisointimenetelmänä. Mikäli jostain syystä ei voitaisi käyttää termistä kuivainta, voidaan käsittelyjäännös hygienisoida höyryllä ennen linkokuivausta varastosäiliössä. Kuivattu liete pelletoidaan maanparransakeeksi. Pelletin halkaisija on noin 6 mm ja pituus 8 - 12 mm. Pellettimatriisi on kuluva osa. Ensimmäinen pellettimatriisi kesti noin 3 kk. Seuraavassa on esitetty käsittelyjäännöksestä valmistetun pelletin tuoteseloste:

**Lakeuden Etapin tuoteseloste:**

Tyyppinimi	Kuivarae		
Tuotteen kauppanimi	Maanparannusrae		
Raaka-aineet	Raaka-aineina käytetään puhdistamolietettä ja ruokajätettä (luokan 3 eläinperäiset sivutuotteet). Aines on ennen rakeistusta käsitelty mädättämällä biokaasuprosessissa ja kuivattu termisesti.		
Tilavuuspaino	850 kg/m³		
Orgaaninen aines	45 %		
Kosteus	10 %		
Pääravinteet	Kokonaistyyppi (N)	24 g/kg ka	22 kg/m³
	Liukoinen typpi(N)	3 g/kg ka	2,7 kg/m³
	Kokonaisfosfori (P)	25 g/kg ka	22,5 kg/m³
	Liukoinen fosfori (P)	0,11 g/kg ka	0,1 kg/m³
	Kokonaiskalium (K)	2,5 g/kg ka	2,3 kg/m³
Haitalliset metallit	Arseeni (As)	< 10 mg/kg ka	
	Elohopea (Hg)	< 0,8 mg/kg ka	
	Kadmium (Cd)	< 1,0 mg/kg ka	
	Kromi (Cr)	< 300 mg/kg ka	
	Kupari (Cu)	< 450 mg/kg ka	
	Lyijy (Lb)	< 30 mg/kg ka	
	Nikkeli (Ni)	< 40 mg/kg ka	
	Sinkki (Zn)	< 800 mg/kg ka	
Karkeusaste (raekoko)	Pellettimäinen Ø 6mm, pituus n. 10mm, kovuus yli 10 Nm		
Käyttötarkoitus	Maanparannusaine ja ravinnelisa		
Käyttöohje	Maanparannusrakeen levitysmäärä viljelysmaahan määräytyy maaperän ja viljeltävän kasvin mukaan. Suurin suositeltava levitysmäärä on noin 7 m³/ha käytettäessä neljän vuoden lannoitusmäärää. Soveltuu erityisesti syyslannoitukseen ja varsinkin fosforia vaativille maille / kasveille. Maanparannusrakeen levitysmäärä viherrakentamiseen ja maisemointiin määräytyy kohteen maaperän mukaan. Suurin suositeltava levitysmäärä on noin 15 m³/ha käytettäessä viiden vuoden lannoitusmäärää. Tuote ei sellaisenaan sovellu kasvu-alustaksi.		
Valmistaja	Lakeuden Etappi Oy Laskunmäentie 15 60760 POJANLUOMA	Laitoksen hyväksymisnumero	
		FIB039-04661/2007	
		Toimituserä	kesä/2008



### Biokaasu

Biokaasulla tuotetaan höyryä ja lämmintä vettä. Höyryllä lämmitetään termistä kuivuria, joka ei tarvitse muuta ulkopuolista lämpöenergiaa. Lämmönvaihtimien avulla saadaan lämmintä vettä. Lisäksi ylijäämäbiokaasua poltetaan soihdussa tarvittaessa. Biokaasun tuotanto on ollut noin 350 - 400 m<sup>3</sup>/h ja kaasun metaanipitoisuus 65 - 68 %.

### Hajunkäsittely

Laitoksella syntyy kolmeen eri luokkaan luokiteltuja hajukaasuja. Voimakkaimmat hajut syntyvät liettämissäiliöistä, termisestä kuivauksesta, pelletoinnista ja koneista, jotka käsittelevät syötteitä. Nämä hajukaasut johdetaan vesipesuriin ja sen jälkeen biosuodattimeen. Vesipesuriin menevä ilmavirta on noin 3 m<sup>3</sup>/s. Noin 50 % tästä vesipesurissa käsiteltävästä ilmavirrasta syntyy termisestä kuivauksesta ja pelletoinnista. Nämä ilmavirrat sisältävät myös likaista pölyä.

Lievästi hajuja sisältävät ilmat, jotka syntyvät lietteen vastaanottoaltaassa, biojätevarastossa ja katetussa esiselkeytysaltaassa, johdetaan suoraan biosuodattimeen ilman vesipesua. Vähiten hajua sisältävä ilma (mm. lämmönvaihtimista) johdetaan myös suoraan biosuodattimelle. Hajukaasut imetään puhaltimilla korkeapainepuhaltimen (137 kW) imukanavaan, josta hajukaasut johdetaan halkaisijaltaan 1 000 mm ruostumattomasta teräksestä valmistettua ja lämpöeristettyä kanavaa pitkin biosuodattimelle. Kaikki hajukaasujen siirtoputket on tehty haponkestävästä teräksestä.

Kuvassa 13 on taustalla kaasuväylä, jonka vieressä (kuvan keskellä takana) on kaasusoihtu. Oikeassa laidassa näkyy biosuodattimen reunaa ja putkisto, jota pitkin hajukaasut johdetaan suodattimeen puhaltimella. Kuva on otettu jäteveden käsittelyaltaalta ja etualalla näkyy jäteveden ilmastusallas. Kuvassa 14 näkyy kokonaisuudessaan biosuodatin ja etualalla jäteveden ilmastusallas.

Biosuodattinalue on jaettu kahteen samanlaiseen lohkokseen, joissa molemmissa on pohjalla jakoputkisto ja kastelukerros. Biosuodatin on käytännössä kerroksittain sijoitettua kuorikemassaa, karkeaa haketta, lekasoraa ja mursketta. Biosuodattimen lähellä ei vierailuhetkellä ollut havaittavissa hajuhaittoja, vaikkei ympäristöluvan tavoitearvoja laitoksen mukaan saavuteta. Ympäristöluvan edellyttämä raja on 1500 hajuyksikköä, kun biosuodattimella päästään tällä hetkellä 2 000 - 2 800 yksikköön. Lähtötasoa ei ole mitattu, mutta sen arvellaan olevan noin 30 000 - 100 000 hajuyksikköä. Vesipesurin jälkeen ennen biosuodatinta on mitattu 15 000 OU:n ja 25 ppm:n ammoniakkipitoisuuksia.

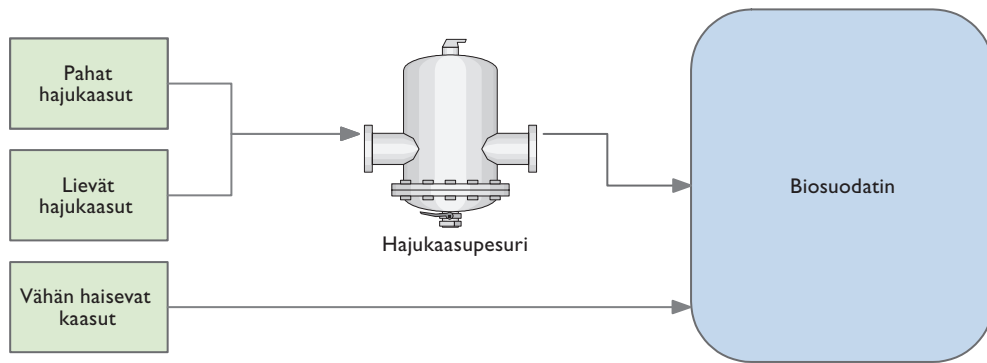
Käyttöönoton jälkeen biosuodattimen tehokkuutta on mitattu kuukausittain ja sen toimintaa parannettu. Biosuodattimelle tuleva ilmavirta ei aluksi levinnyt riittävän tasaisesti, jonka vuoksi patjan paksuutta on lisätty alkupäästä, josta ilma purkautui liian nopeasti. Toiminta on tämän jälkeen parantunut. Myös ammoniakkipitoisuutta on seurattu. Mikäli hajukaasun ammoniakkipitoisuus olisi liian korkea, se voitaisiin puhdistaa happopesurilla, mutta tähän ei ole ollut tarvetta.

### Hajunkäsittelyssä huomioitavaa

Kohdepoistossa on tärkeää kiinnittää huomiota mitoittamiseen ja siihen, mistä ilmaa poistetaan. Esimerkiksi Etapin laitoksella imu on sijoitettu oletetun hajulähteen välittömään läheisyyteen. Lisäksi automaatiota tulisi käyttää hyväksi siten, että esimerkiksi lietesäiliön luukun auetessa imu alkaa välittömästi. Myös mahdolliset imuun vaikuttavat häiriötekijät pitää huomioida.

Hajunkäsittelyä voidaan vielä tehostaa yksinkertaisesti kasvattamalla biosuodattimen patjan paksuutta. Tämä kuitenkin nostaa ilman korkeapainepuhaltimen sähkönkulutusta merkittävästi. Tällöin tulisikin miettiä, kuinka paljon on järkevää kuluttaa sähköä tietyn hajupitoisuuden saavuttamiseen.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Mäkinen, J. 2008. YIT Environment. Suullinen tiedonanto 29.10.2008.



Kuva 12. Etapin hajukaasujen käsittely.



Kuva 13. Hajukaasujen siirtoputki.



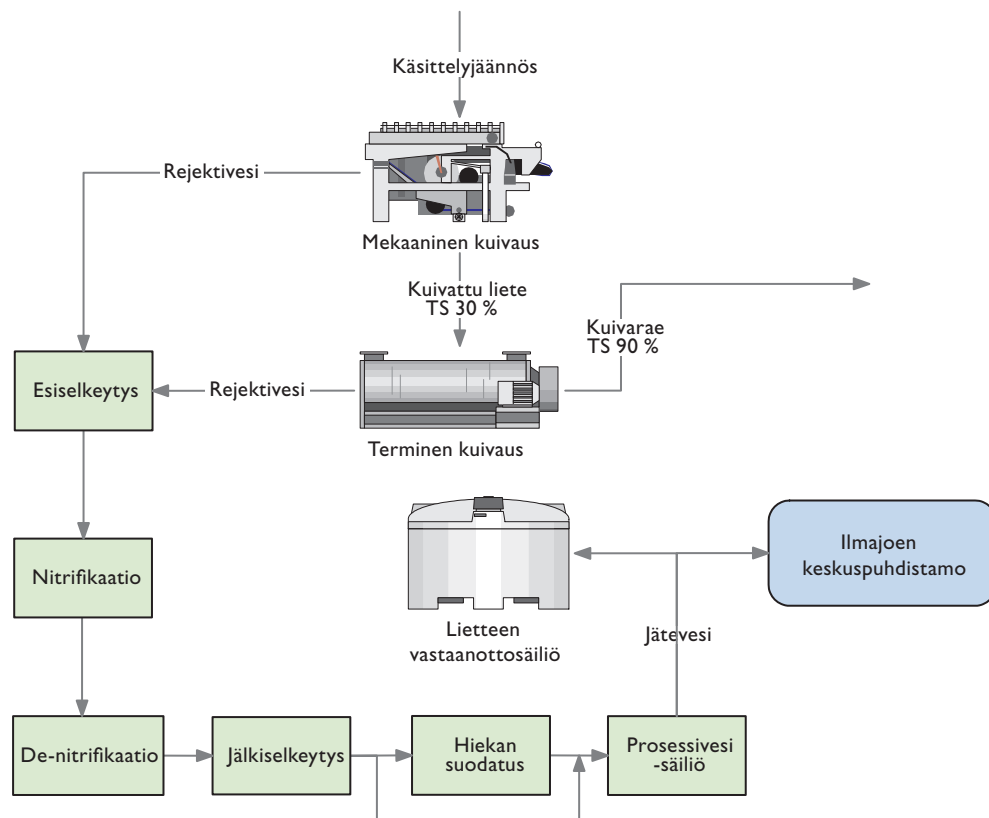
Kuva 14. Biosuodatin ja jäteveden ilmastusaltaan reuna.

### Vedenkäsittely

Etapin biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kuivauksessa syntyvät vedet (n. 85 000 m<sup>3</sup>/a) käsitellään omassa jäteveden esikäsittelylaitoksessa. Käsiteltävästä jätevedestä noin 80 % syntyy mekaanisessa kuivauksessa ja loput termisessä kuivauksessa. Käsittelylaitos on mitoitettu käsittelemään jätevettä 400 m<sup>3</sup>/vrk. Tämän jälkeen vedet johdetaan joko tulevien lietteiden laimennukseen tai viemäriverkostoon.

Viemäriverkostoa pitkin jätevesi kulkee Ilmajoen keskuspuhdistamolle. Ongelmaksi on muodostunut se, että Ilmajoen puhdistamo kuormittuu merkittävästi Etapin jätevedestä. Toisaalta vesiä ei voi johtaa rajattomasti takaisin oman prosessin alkupäähän, koska se johtaa liian korkeisiin konsentraatioihin omassa prosesseissa. Tiedetyt epäpuhtaudet saadaan puhdistettua melko tehokkaastikin, mutta ongelmia tuottavat erityisesti COD-, typpi- ja kiintoainepitoisuudet. Kiintoaines on sen tyyppistä, että se ei laskeudu.

Käsiteltävän jäteveden COD on noin 10 000 mg/l, kun laitokselta lähtevän veden COD:n tulisi olla 500 mg/l. Ongelmana on, että vesissä on "hajoamatonta COD:a", joka nostaa käsittelykustannuksia. Ratkaisuksi ongelmaan on mietitty mm. reaktorin jälkeen sijoitettavaa tasausallasta, jolla voitaisiin paremmin säätää jäteveden esikäsittelylaitoksen kuormitusta. Tällä hetkellä pyritään kuitenkin saamaan ongelma haltuun lisäämällä metanolia jäteveden käsittelyprosessiin.



Kuva 15. Etapin jäteveden synty ja käsittelyprosessit.



Taulukko 2. Vedenpuhdistuksessa käytettävät kemikaalit.

Kemikaali	Määrä
Vaahdonestokemikaali	6 m <sup>3</sup> /a
Metanoli	arvio 260 t/a
PIXI05 (rauta)	50 t/a
Lipeä	400 m <sup>3</sup> /a
Polymeeri	5 t/a



Kuva 16. Jätevedenkäsittelylaitoksen altaita.

## Jyväskylän Vesi

Nenäinniemen puhdistamon biokaasureaktorikapasiteetti on 2 x 2750 m<sup>3</sup>. Biokaasulaitoksessa käsitelty syöte (42 000 t/a) on noin 85 %:sesti yhdyskuntalietettä. Loput 15 % ovat teollisuuden lietteitä (Valio, Lihasaariainen ja M-Real). Biokaasua syntyy noin 1 600 000 m<sup>3</sup>/a. Laitoksella on käynnissä laajennusprojekti, jonka jälkeen biokaasun määrän odotetaan lisääntyvän noin kolmanneksella.

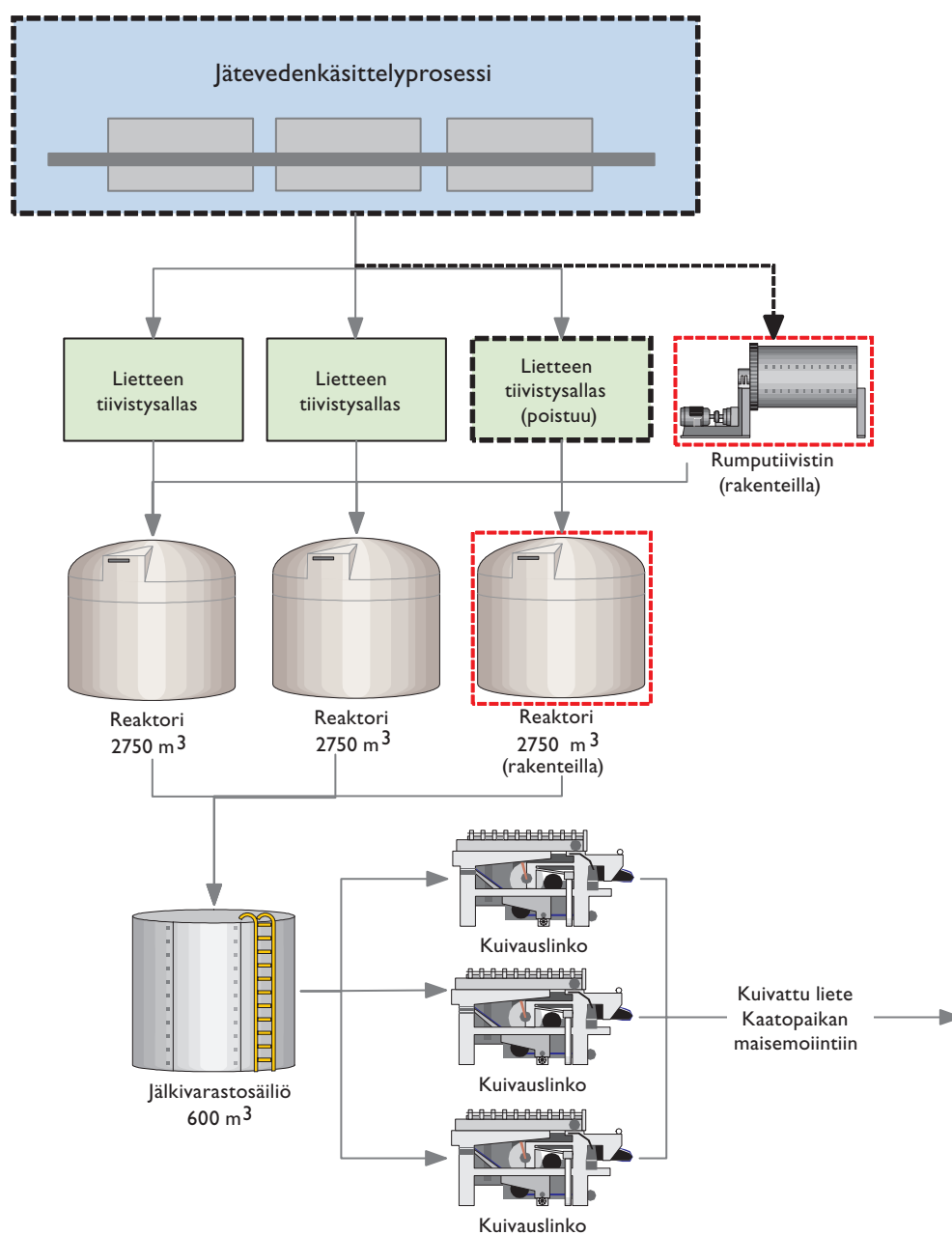
### Prosessi

Ennen biokaasureaktoria lietettä tiivistetään tiivistysaltaissa, joita on kolme. Vain kahdesta altaasta liete menee biokaasukäsittelyyn. Syötteen kuiva-ainepitoisuus on noin 2,5 % ja viipymä 15 vuorokautta. Prosessi on mesofiilinen. Yhden tiivistysaltaan liete johdetaan suoraan biokaasulaitoksen ohi välivarastoon, koska biokaasulaitoksen kapasiteetti on riittämätön.

Parhaillaan laitokselle rakennetaan yhtä lisäreaktoria, jotta kaikki lietteet saadaan käsitellyksi. Samalla kolmas tiivistysallas poistuu käytöstä ja se korvataan rumputiivistimellä. Tällöin syötteen kuiva-ainepitoisuus reaktoriin mennessä saadaan nostettua noin 7,5 - 8 %:iin.



Kuva 17. Jyväskylän Nänäinniemen puhdistamon biokaasureaktorit.



Kuva 18. Jyväskylän Nänäinniemen puhdistamon biokaasuprosessi.

### Biokaasu

Biokaasulla ajetaan 157 kWe moottoria, joka pyörittää jätevedenkäsittelyn ilmastus-kompressoreita. Rakennusprojektin seurauksena vanha moottori korvataan kahdella moottorilla (2 x 330 kWe), joilla tuotetaan sähköä ja lämpöä. Laitoksen on arvioitu olevan tällöin lähes omavarainen sähkön suhteen.

### Hajunkäsittely

Hajukaasut ohjataan lietteen esikäsittelystä ja selkeytysaltaista biosuodattimeen. Suodatin on pinta-alaltaan noin 120 m<sup>2</sup> ja noin 2 metriä paksu, katettu hake-/turvekerros. Suodatinta kastellaan automaattisesti ja hajukaasut pumpataan alakautta suodattimeen. Suodatin hengittää voimakkaasti kosteaa höyryä, joka talvisin muodostaa paksun jääkerroksen suodattimen katolle ja seiniin. Suodatin on toiminut moitteettomasti, eikä laitoksella ole havaittavissa merkittäviä hajuhaittoja. Rakennustöiden yhteydessä laitokselle tulee lisäksi otsonaattori, jonne ohjataan hajukaasut rumputiivistimeltä ja tiivistyssäiliöistä.



Kuva 19. Nänäinniemen puhdistamon biosuodatin sisältä.



Kuva 20. Nänäinniemen puhdistamon biosuodatin ulkoa.

### Vedenkäsittely

Jätkivarastosäiliöstä käsittelyjäänös ajetaan kolmelle lingolle noin 2,2 - 3,2 % kuiva-ainepitoisuudessa. Ulostuleva kuivattu liete on kuiva-ainepitoisuudeltaan noin 30 %. Rejektivesi johdetaan takaisin jätevedenkäsittelyprosessin alkupäähän. Kuivauksesta saatavan rejektiveden kiintoainepitoisuus on noin 600 mg/l.

Kuivattu käsittelyjäänös toimitetaan kaatopaikalle, joka vastaa jatkokäsittelystä. Käytännössä jäänös kompostoidaan ja käytetään kaatopaikan maisemointiin. Kuivatusta käsittelyjäänöksestä on tehty analyysijä Jyväskylän Yliopistossa.

### Tampereen Vesi

Tampereen veden Viinikanlahden puhdistamon biokaasulaitoksella käsitellään pelkästään yhdyskuntalietettä.

#### Prosessi

Laitoksella on kaksi biokaasureaktoria, kooltaan 3500 m<sup>3</sup>. Reaktoreihin syötetään lietettä noin 25 m<sup>3</sup>/h ja viipymä on noin 2 viikkoa. Syötteen kuiva-ainepitoisuus on noin 4 % ja käsittelyjäänöksessä keskimäärin 3,2 %. Reaktoreissa on kaasukuplasekoitus, mutta ei mekaanista sekoitusta. Prosessi on lähes identtinen Jyväskylän Nenäinniemen puhdistamon kanssa.

Käsittelyjäänös kuivataan kahdella lietelingolla noin 30 % kuiva-ainepitoisuuteen. Päivittäin saadaan noin 50 t kuivattua lietettä, joka toimitetaan yksityisyritykselle jatkokäsiteltäväksi. Yrittäjä kompostoi kuivatusta lietteestä noin 30 % makkara-aumoissa ja komposti käytetään maanviljelyyn. Loput lietteestä menee Pirkanmaan Jätehuollolle aumakompostoitavaksi ja käytetään tämän jälkeen kaatopaikan maisemointiin.

#### Biokaasu

Biokaasua syntyy noin 2 000 000 m<sup>3</sup>/a ja sen metaanipitoisuus on 65 %. Kaasulla tuotetaan sähköä ja lämpöä omaan käyttöön. Sähkön suhteen laitos on noin 50 %:sesti omavarainen ja lämmön suhteen noin 65 %:sesti omavarainen.

Laitoksella on pitkään ollut ongelmana kaasumoottorin koko. Hankittaessa moottori mitoitettu liian suureksi suhteessa kaasuntuottoon. Moottoria voidaan ajaa minimissään 50 % teholla eikä kaasu tahdo riittää tähänkään. Mikäli kaasuntuotto hetkittäisesti pienenee, joudutaan siis moottori sammuttamaan ja polttamaan kaasu soihdussa. Biokaasuprosessia tehostamalla on kaasuntuottoa saatu lisättyä ja vuonna 2008 poltettiin soihdussa alle 30 % muodostuneesta kaasusta.

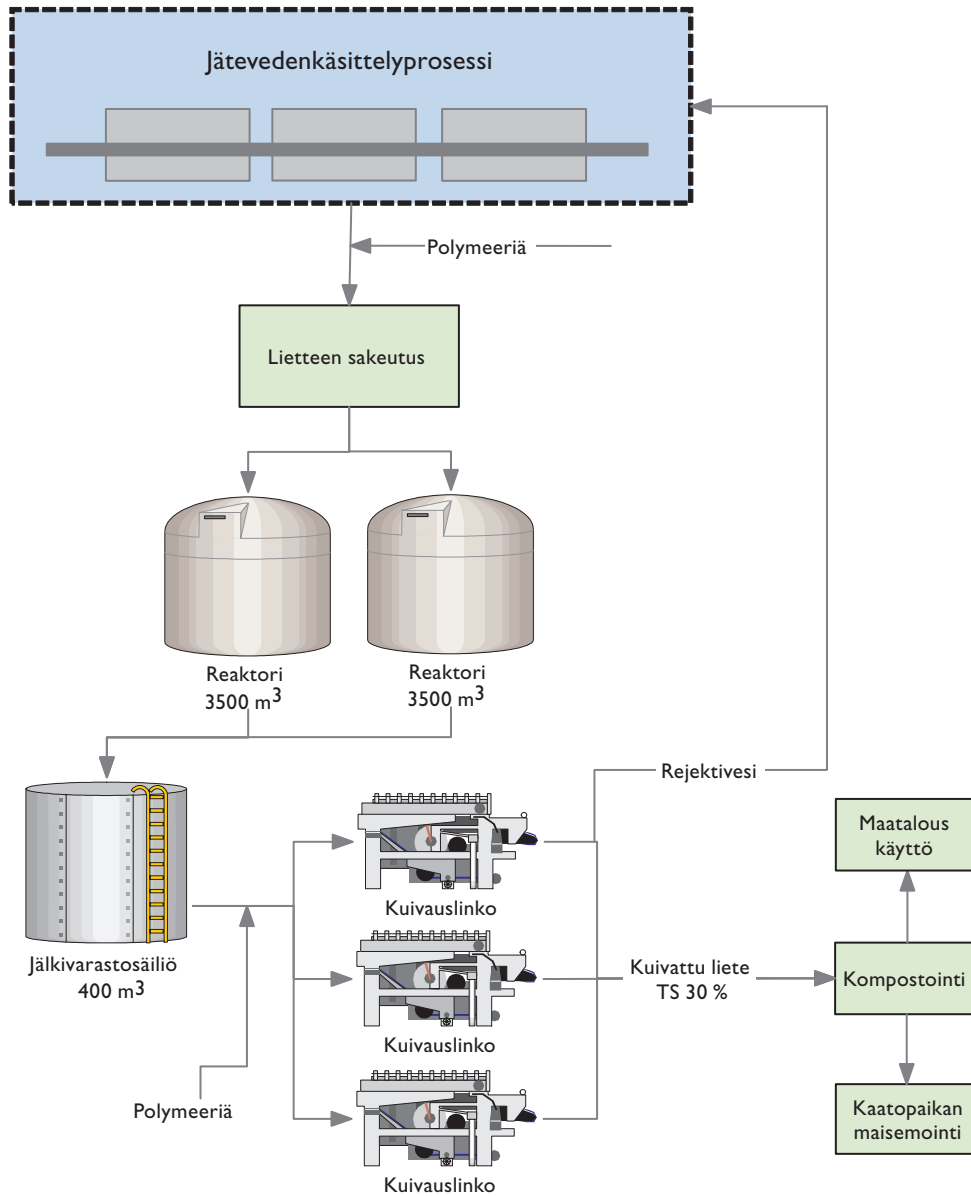
Parhaillaan laitoksella uusitaan lämmönvaihtimia ja biokaasuprosessia pyritään kehittämään tehostamalla kaasukuplasekoitusta uusilla kompressoreilla. Myös maa-kaasun lisäämistä biokaasuun on pohdittu, mutta se edellyttäisi moottorin säätämistä uudelleen.

### Vedenkäsittely

Kuivauksesta saatava rejektivesi johdetaan takaisin puhdistamon alkupäähän.

### Hajunkäsittely

Hajukaasuja johdetaan pois tuloviemäreistä sekä raakalietteen tiivistysaltaista, jotka on katettu. Hajut johdetaan biosuodattimeen, jonka paksuus on 1,3 m. Pinta-alaltaan suodatin on n. 75 m<sup>2</sup> ja se sisältää kivimursketta ja turveseosta. Biosuodatinta kastellaan säännöllisesti ja bakteeritoiminta poistaa hajut. Hajutasoista ennen tai jälkeen käsittelyn ei ole mittaustuloksia. Biosuodatin hankittiin vuonna 2002 ja hajut vähenivät sen hankkimisen jälkeen.



Kuva 21. Tampereen Veden Viinikanlahden puhdistamon biokaasuprosessi.

Taulukko 3. Rejektiveden analyysitulokset.

Parametri	Tulos	Muuta huomioitavaa
BOD	350 - 750	Ka. 400
Kiintoaine	1 gr/l	Tärkein seurattava arvo, 1,5 gr/l on jo liikaa
Kaliumperkamnaattiluku	1000 mg/l	
Kok-fosfori	29 mg/l	
Kok-typä	530 mg/l	



## Halsuan biokaasulaitos

### Yleistä

Harri Riihimäen sikatila ja sen yhteydessä toimiva biokaasulaitos toimivat Halsualla, Pohjanmaalla. Tarve lietteen käsittelylle syntyi, kun sikalaa laajennettiin vuonna 1997. Biokaasulaitoksessa käsitellään sikalalietettä sekä alueella syntyvää perunankuorijätettä. Lisäksi syötteenä on käytetty omakotitalojen pihoilta leikattua nurmea, josta saadaan painoyksikköä kohden biokaasua huomattavasti enemmän kuin lietteestä. Perunankuorta ei voida kokemusten perusteella syöttää reaktoriin yli 40 % sikalietteen määrästä, koska tällöin biokaasun metaanipitoisuus laskee 65 %:sta 55 %:iin. Tällöin jouduttaisiin säätämään moottoria uudelleen. Laitoksella on kokeiltu myös paperiteollisuuden jätteiden käsittelyä.

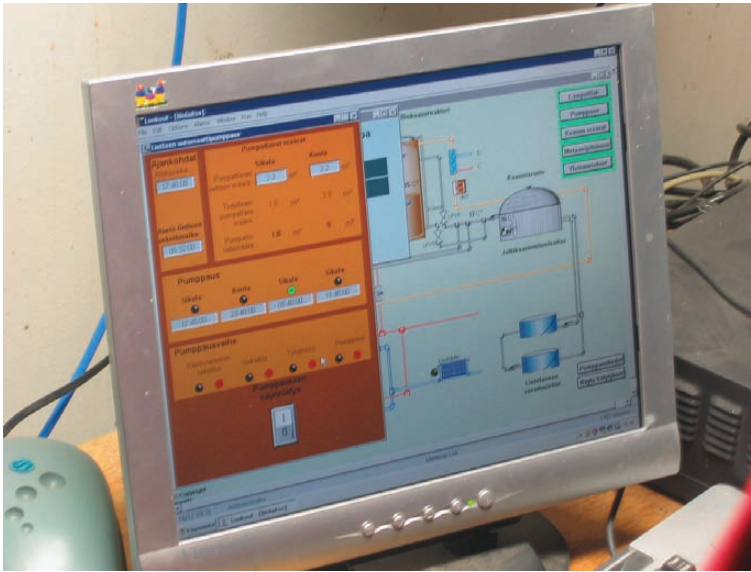
### Prosessi

Reaktori on kooltaan 250 m<sup>3</sup>. Reaktorin täyttöaste on noin 220 m<sup>3</sup> ja loput jää kaasutilaksi. Ennen reaktoria on sekoitussäiliö (200 m<sup>3</sup>), johon johdetaan sikalaliete ja muut mahdolliset syötteet. Syötettä pumpataan reaktoriin noin 8 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Reaktorista käsittelyjäännös pumpataan jälkikaasutussäiliöön (550 m<sup>3</sup>), jonka täyttötilavuus on 440 m<sup>3</sup>. Lietepumppuja laitoksella on vain kaksi kappaletta. Muuten syötöt toimivat omalla paineella tai painovoimalla. Jälkikaasutussäiliössä muodostuu noin 10 - 20 % kokonaisbiokaasun määrästä. Biokaasua muodostuu noin 67 m<sup>3</sup>/vrk.

Prosessia ohjataan tietokoneella biokaasulaitoksen ohjaushuoneesta. Ohjaus voidaan tehdä myös etätietokoneelta esimerkiksi kotoa ja siihen kuluu aikaa noin 20 min/vrk. Mikäli prosessia ohjaava tietokone kaatuu tai rikkoontuu, laitosta voidaan ohjata myös suoraan käsikäyttöisesti ohjauspaneelisti. Laitoksella on hälytysjärjestelmä, joka lähettää omistajan puhelimeen tekstiviestin laitoksen toiminnan häiriötilanteissa.



Kuva 22. Syötteen sekoitussäiliö.



Kuva 23. Laitoksen ohjausjärjestelmä, josta on nähtävissä tärkeimmät parametrit.



Kuva 24. Biokaasureaktori ja taustalla katettu jälkikaasutussäiliö.

### Biokaasun käyttö

Biokaasu pumpataan hyödyntämislaitteistolle kahden vedenerotusyksikön kautta. Vedenerotussäiliöiden sisällä on levyjä, joiden pinnalle kosteus tiivistyy ja valuu poistoputkeen. Biokaasusta tuotetaan aggregaatilla sähköä 30 % hyötysuhteella ja lämpöä 60 % hyötysuhteella. Näin ollen kokonaishyötysuhde on noin 90 %. Moottori on nelisylinterinen. Lämpö varastoidaan 2 000 l varaajaan. Energiaa käytetään sika-lassa, jonka sähköntarve on 150 000 kWh/a ja lämmöntarve 125 000 kWh/a.

Vuodesta 2004 alkaen laitokselta on syötetty sähköä myös yleiseen verkkoon. Sähk- kö myydään verkkoyhtiölle, mutta siitä saatava hinta on matala. Vuosittain sähköä

myydään noin 80 MWh. Mittauslaitteet rakensi verkkoyhtiö omalla kustannuksellaan. Myös biokaasun liikennekäyttöä on suunniteltu laitoksella.

Häiriötilanteita varten laitoksella on myös kaasusoihtu, jossa biokaasu voidaan polttaa. Soihtua käytetään ongelmatilanteissa kuten moottorin tai aggregaatin rikkoutuessa.

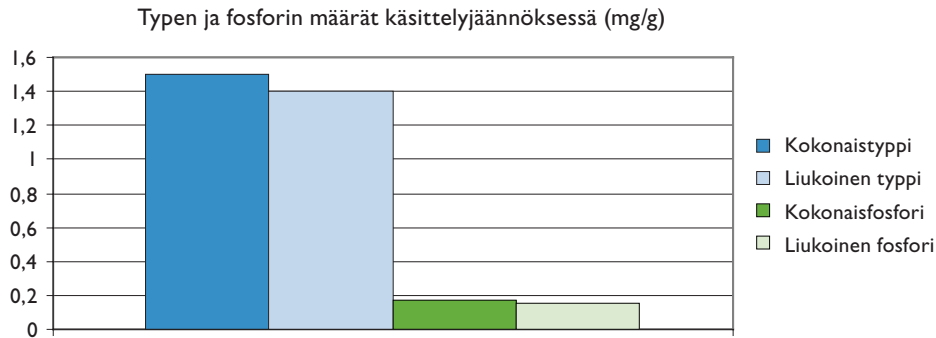
### Hajun ja veden käsittely

Laitoksella ei synny käsiteltäviä ilmavirtoja tai jätevesiä. Mahdolliset pesuvedet johdetaan viemäriverkkoon. Biokaasulaitoksella käsitelty sikalaliete ei aiheuta hajuhaittoja kuten aikaisemmin ja naapureilta on laitoksen omistajan mukaan tullut tämän johdosta kiitoksia. Käsittelyjäännöksen ravinteet (typpi ja fosfori) ovat lähes kokonaan liukoisessa muodossa.



Kuva 25. Biokaasulaitoksen kaasusoihtu.





Kuva 26. Typen ja fosforin määrä ja liukoisten ravinteiden osuus.

### Jatkosuunnitelmat

Laitoksella on tehty suunnitelmia myös eläinperäisen jätteen hyödyntämiseen. Tällöin tarvitaan kuitenkin hygienisointi, jota laitoksella ei toistaiseksi ole. Hygienisointiyksikkö, syötteen murskain sekä biokaasun puhdistus- ja tankkauslaitteisto ovat investointeja, joita laitoksella suunnitellaan. Myös muualla hygienisoidun eläinperäisen jätteen käsittely voisi olla mahdollista.

### Kannattavuus

Laitoksen investointi oli noin 290 000 € ja sen takaisinmaksuajaksi oli laskettu alun perin 9 vuotta. Energian hinnan noususta ja saaduista porttimaksuista johtuen takaisinmaksuaika on kuitenkin lyhentynyt. Enemmän biokaasua tuottavien syötteiden lisäämisellä voitaisiin takaisinmaksuaikaa lyhentää entisestään.

## KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus			Julkaisu-aika Kesäkuu 2009
Tekijä(t)	Markus Latvala			
Julkaisun nimi	<b>Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä</b>			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 24/2009			
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>			
Tiivistelmä	<p>Energian tuotanto biomassasta sekä jätteiden käsittely yhdistettynä biokaasun tuotantoon ovat viime aikoina herättäneet erityisen paljon kiinnostusta. Biokaasulaitoksella uusiutuvista, biologisesti hajoavista orgaanisista aineista tuotetaan anaerobisissa olosuhteissa metaanipitoista biokaasua. Kasvihuonekaasupäästöt vähenevät, kun orgaanisista jätteistä mahdollisesti muutoin hallitsemattomasti vapautuva metaani saadaan talteen ja hyödynnettäväksi.</p> <p>Biokaasutuotannon BAT-selvityksessä on tarkasteltu erityisesti suomalaisissa biokaasulaitoksissa käytössä olevia tekniikoita ja laitosten ympäristönäkökohtia, kuten hajujen ja rejektivesien hallintaa ja käsittelyä. Ennen varsinaisia tekniikka- ja menetelmäkuvauksia raportissa on käsitelty lyhyesti biokaasulaitoksen toimintaan vaikuttavaa lainsäädäntöä, erityisesti ympäristö- ja lannoitevalmistelainsäädäntöä. Raportti keskittyy reaktorilaitoksiin ja kaatopaikkakaasujen talteenotto ja hyödyntäminen on rajattu selvityksen ulkopuolelle. Raportin alkuun on koottu yhteenvedo Suomessa olemassa olevista ja suunnitteilla olevista biokaasulaitoksista (tilanne vuonna 2008). Selvityksessä biokaasulaitokset on jaettu kolmeen laitostyyppiin, jotka ovat maatilalaitos, jätevedenpuhdistamon laitos sekä yhteiskäsittelylaitos. Laitostyyppiäottelu esiintyy raportin kaikissa osissa, koska eri tyyppiset laitokset voivat käyttää hyvin erilaisia syötteitä ja toimintatapoja. Käsittelyssä on jätetty vähemmälle huomiolle tekniikoita, joita ei Suomessa ole nykyisin käytössä tai joiden käyttö tulevaisuudessa on epätodennäköistä.</p> <p>Biokaasulaitoksilla parhaiden käytettävissä olevien tekniikoiden (BAT) valintaan vaikuttavat laitoksen sijainti, laitoksella käytettävät syötteet, muodostuvien hajukaasujen laatu ja määrä, muodostuvien käsiteltävien rejektivesien laatu ja määrä sekä käsittelyjännöksen hyödyntämismahdollisuudet esimerkiksi lannoitevalmisteenä. Biokaasulaitokset muodostavat oman kokonaisuutensa ja laitokselle valittavan tekniikan kelpoisuus on aina arvioitava tapauskohtaisesti.</p> <p>Selvityksen sisältö ja rakenne ovat yhteneväiset Suomessa aiemmin eri toimialoille laadittujen kansallisten BAT-selvitysten kanssa.</p>			
Asiasanat	Biokaasu, biokaasulaitos, anaerobiset menetelmät, BAT, paras käytettävissä oleva tekniikka			
Rahoittaja/toimeksiantaja				
	ISBN 978-952-11-3497-5 (nid.)	ISBN 978-952-11-3498-2 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkokj.)
	Sivuja 114	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis. alv 8 %) 26 €
Julkaisun myynti/jakaja	Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 Sähköposti: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a> <a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a>			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2009			

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum Juni 2009
Författare	Markus Latvala			
Publikationens titel	<b>Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä</b> (Bästa tillgängliga teknik (BAT) Produktion av biogas i finsk verksamhetsmiljö)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 24/2009			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>			
Sammandrag	<p>Produktion av energi från biomassa och hantering av avfall i kombination med produktion av biogas har på senaste tid väckt speciellt stort intresse. Vid ett biogasverk produceras metanhaltig biogas i anaeroba förhållanden av förnybara, biologiskt nedbrytbara organiska material. Växthusgaserna minskar, när metanet i organiska avfall, som i annat fall kunde frigöras okontrollerat, kan tas till vara och utnyttjas.</p> <p>I biogasproduktionens BAT-utredning utreds i synnerhet tekniker som används i finska biogasverk och verkens miljösynpunkter, till exempel kontroll och behandling av lukt och rejektivatten. Före de egentliga teknik- och metodbeskrivningarna behandlas i rapporten kort den lagstiftning som gäller biogasverkets funktion, i synnerhet miljö- och gödselproduktionslagstiftningen. Rapporten koncentrerar sig på reaktorverk, men hur gasen tillvaratas och utnyttjas på deponier har utelämnats från denna rapport. I början finns ett sammandrag av i Finland verkan- de och planerade biogasverk (läget 2008). I utredningen har biogasverken delats upp i tre typer: jordbruksverk, verk vid reningsverk samt sambehandlingsverk. Typindelningen förekommer i rapportens alla delar, för olika typer av verk kan använda mycket olika insatser och behandlingssätt. I utredningen ges mindre uppmärksamhet åt sådana tekniker, som inte numera används i Finland eller som är osannolika i framtiden.</p> <p>Valet av bästa tillgängliga teknik (BAT) i biogasverk påverkas av verkets plats, de råvaror som används, uppkom- mande luktgasers kvalitet och kvantitet, rejektivattens kvalitet och kvantitet samt möjligheten att använda be- handlingen till exempel som gödselprodukt. Ett biogasverk bildar en egen helhet och lämpligheten hos den teknik som väljs för verket måste alltid bedömas skilt för varje fall.</p> <p>Utredningens innehåll och struktur är samma som i de nationella BAT-utredningar som gjorts tidigare i Finland för diverse olika branscher.</p>			
Nyckelord	biogas, biogasverk, anaeroba metoder, BAT, bästa tillgängliga teknik			
Finansiär/uppdragsgivare				
	ISBN 978-952-11-3497-5 (hft.)	ISBN 978-952-11-3498-2 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 114	Språk finska	Offentlighet offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) 26 €
Beställningar/distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Epost: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a> <a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a>			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors			
Tryckeri/tryckningsort-år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2009			

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> June 2009
<i>Author(s)</i>	Markus Latvala			
<i>Title of publication</i>	<b>Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä</b> (Best available techniques (BAT) Production of biogas in a Finnish operating environment)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 24/2009			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>			
<i>Abstract</i>	<p>Production of energy from biomass, and the treatment of waste combined with production of biogas have lately been the centre of interest. Biogas high in methane is produced in anaerobic conditions at biogas plants from renewable, biologically decomposing organic materials. The emissions of greenhouse gases decrease when the methane, which otherwise might be emitted in an uncontrolled way, is collected and reused.</p> <p>In the BAT-report about the production of biogas the techniques at Finnish biogas plants, and the environmental aspects of the plants, such as control and management of smell and reject water, got special attention. Before the actual technique and method descriptions, the report deals shortly with the legislation, especially the environmental legislation and the legislation concerning fertilizer production. The report concentrates on reactor plants; the recovery of landfill gases is left outside the scope of this study. The report begins with a summary of biogas plants already functioning in Finland, and plants under planning (in 2008). The plants have been divided into three types: farm plants, units at municipal waste water treatment plants, and combined plants. The division into types occurs in all parts of the report, because plants of different type can use very diverse inputs and operation methods. Techniques which are not used in Finland today or which are very unlikely in the future, get less attention.</p> <p>The choice of best available techniques (BAT) is affected by the location of the biogas plant, inputs used, the quantity and quality of foul gases produced, the quantity and quality of reject waters produced, and the possibilities to use treatment residues e.g. as manure. Biogas plants constitute their own entities and the applicability of the technique has to be assessed at each case.</p> <p>The contents and structure of the study are congruent with earlier BAT studies made in Finland for various industries.</p>			
<i>Keywords</i>	biogas, biogas plant, anaerobic methods, BAT, best available techniques			
<i>Financier/ commissioner</i>				
	ISBN 978-952-11-3497-5 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3498-2 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	No. of pages 114	Language Finnish	Restrictions Public	Price (incl. tax 8 %) 26 €
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd, P.O. Box 780, FI-00043 EDITA Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: <a href="mailto:asiakaspalvelu.publishing@edita.fi">asiakaspalvelu.publishing@edita.fi</a> <a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a>			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE), P.O. Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd., Helsinki 2009			



Myynti: Edita Publishing Oy  
Asiakaspalvelu: PL 780, 00043 EDITA  
puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380  
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi  
www.edita.fi/netmarket

**ISBN 978-952-11-3497-5 (nid.)**

**ISBN 978-952-11-3498-2 (PDF)**

**ISSN 1238-7312 (pain.)**

**ISSN 1796-1637 (verkkoj.)**

